Povezivanje plinovoda s usponskim cijevima na proizvodnim platformama

Mandić, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:860181

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij naftnog rudarstva

POVEZIVANJE PLINOVODA S USPONSKIM CIJEVIMA NA PROIZVODNIM PLATFORMAMA

Diplomski rad

Mateo Mandić

N - 236

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

POVEZIVANJE PLINOVODA S USPONSKIM CIJEVIMA NA PROIZVODNIM PLATFORMAMA

MATEO MANDIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Nakon polaganja cjevovoda slijedi postupak povezivanja usponskih cijevi i cjevovoda umetkom za povezivanje. Umetci za povezivanje cjevovoda se izrađuju u različitim oblicima, a najčešće su L, Z ili U oblika. Umetci za povezivanje cjevovoda mogu biti horizontalno ili vertikalno položeni. U diplomskom radu opisan je postupak povezivanja i dotezanja umetka za povezivanje cjevovoda, a temelji se na primjeru iz prakse s platforme IKA JZ.

Ključne riječi: umetak, cjevovod, prirubnica, brage, vreća za niveliranje, tirfor vitlo, konični zatik, mjerenja, kaliper, poluga, alatka za dotezanje

Diplomski rad sadrži: 64 stranice, 10 tablica, 42 slike, 31 referencu.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNf-a
Pomoć pri izradi: Hrvoje Goreta INAgip d.o.o.,

Ocjenjivači: Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNf-a
Dr. sc. Katarina Simon, redovita profesorica RGNf-a
Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNf-a

Datum obrane: 18. travnja 2019., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

CONNECTING PIPELINE AND RISER AT OFFSHORE PRODUCTION FACILITIES

MATEO MANDIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

The connecting procedure of a riser and a subsea pipeline using a spool piece follows the installation of the subsea pipeline. A spool can be shaped into almost any configuration but are typically L, Z or U shaped. Tie-in spools can be configured vertically or horizontally. This thesis presents the procedure of installation and tensioning of the spool piece and it is based on a practical example from IKA JZ platform.

Keywords: spool, pipeline, flange, sling, lifting bag, tirfor, tapered pin, metrology, caliper, tommy bar, bolt tensioner

Thesis contains: 64 pages, 10 tables, 42 figures, 31 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Prof. Zdenko Krištafor Ph.D
Technical support and assistance: Hrvoje Goreta INAgip d.o.o.

Reviewers: Prof. Zdenko Krištafor Ph.D
Prof. Katarina Simon Ph.D
Asst.Prof. Vladislav Brkić Ph.D

Date of defense: April 18, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

Zahvala:

Zahvaljujem se svom mentoru dr. sc. Zdenku Krištaforu na stručnim savjetima, podršci i strpljenju pri izradi diplomskog rada.

Najveću zaslugu za ono što sam postigao pripisujem svojim roditeljima i sestri, koji su uvijek bili uz mene, bez obzira je li se radilo o sretnim ili teškim trenucima i bez kojih sve ovo što sam dosad postigao ne bi bilo moguće.

Sadržaj

POPIS TABLICA I

POPIS SLIKA II

POPIS OZNAKA IV

1. **Uvod** 1

2. **O cjevovodu općenito** 2

2.1. ***Odabir rute cjevovoda i točke pristupa*** 4

2.1.1. *Reljef morskog dna* 5

3. **Polaganje podmorskog cjevovoda** 6

3.1. ***Povuci/tegli sustav polaganje cjevovoda*** 6

3.1.1. *Tegljenje po površini mora* 7

3.1.2. *Tegljenje neposredno ispod površine mora* 7

3.1.3. *Tegljenje po srednjoj dubini mora* 8

3.1.4. *Tegljenje neposredno iznad morskog dna* 8

3.1.5. *Tegljenje po morskom dnu* 9

3.2. ***S – sustav polaganja*** 9

3.3. ***J – sustav polaganja*** 10

3.4. ***Postavljanje cjevovoda preko bubnja za namatanje*** 11

4. **Stabilizacija podmorskog cjevovoda** 13

4.1. ***Kopanje kanala i zakopavanje cjevovoda*** 13

4.2. ***Madraci*** 14

4.3. ***Istezanje cjevovoda*** 15

5. **Umetci za povezivanje/priključivanje cjevovoda/plinovoda** 16

5.1. ***Odabir umetka za povezivanje cjevovoda*** 18

5.1.1. *Opće razmatranje* 18

5.1.2. *Izrada umetka za povezivanje cjevovoda* 19
5.1.3. *Odabir spojnice* 20
5.1.3.1. Opterećenje prirubnice 22
5.1.3.2. Prirubnica 23
5.1.3.3. Obujmica 24
5.1.3.4. Spojnica u obliku čahure 26
5.1.4. *Postavljanje umetka za povezivanje cjevovoda* 28
5.1.5. *Operativno razmatranje* 29
6. **Podvodna mjerenja – izmjera umetka za povezivanje cjevovoda** 30
6.1. ***Podvodna mjerenja akustičnom metodom*** 31
6.2. ***Podvodna mjerenja zategnutom žicom*** 32
6.3. ***Podvodna digitalna mjerenja zategnutom žicom*** 36
6.4. ***Podvodna fotogrametrijska mjerenja*** 36
6.5. ***Inercijski navigacijski sustavi*** 36
7. **Primjer iz prakse – postavljanje i dotezanje umetka za povezivanje cjevovoda na platformi IKA JZ** 37
7.1. ***Proizvodna platforma Ika Jugozapad*** 37
7.2. ***Opseg projekta*** 39
7.3. ***Procedura postavljanja i dotezanja navojnih spojeva umetka na platformama IKA JZ i IKA A*** 42
7.3.1. *Podatci o prirubnicama za povezivanje cjevovoda* 43
7.3.2. *Podatci o prirubnicama i vrijednosti sila dotezanja* 44
7.3.3. *Procedura postavljanja umetka - „korak po korak“* 49
7.3.3.1. Pripremni radovi za postavljanje 51
7.3.3.2. Podizanje i spuštanje umetka s barže 52

7.3.3.3. Postavljanje umetka u konačni položaj (primarni način postavljanja umetka) 55

7.3.3.4. Postavljanje umetka u konačni položaj (sekundarni način postavljanja umetka) 55

7.3.3.5. Povezivanje prirubnica 56

7.3.3.6. Postupak hidrauličkog dotezanja vijaka 58

8. **Zaključak** 61

9. **Popis literature** 62

POPIS TABLICA

Tablica 5-1. Opće razmatranje prilikom odabira umetka za povezivanje cjevovoda 19
Tablica 5-2. Razmatranja za izradu umetka 20
Tablica 5-3. Razmatranja odabira prirubnica/spojnica za povezivanje cjevovoda 21
Tablica 5-4. Usporedba odabira postavljanja vertikalnog i horizontalnog umetka za povezivanje cjevovoda 28
Tablica 5-5. Operativna razmatranja izbora umetka za povezivanje cjevovoda 29
Tablica 7-1. Dimenzije umetka za povezivane cjevovoda postavljanih na platformama IKA JZ i IKA A 43
Tablica 7-2. Podatci o umetku za povezivanje cjevovoda promjera 254 mm (10") između položenog cjevovoda i risera platforme Ike A 45
Tablica 7-3. Podatci o umetku za povezivanje cjevovoda 76,2 mm (3") između položenog cjevovoda i risera platforme Ike A 46
Tablica 7-4. Podatci o umetku za povezivanje cjevovoda promjera 254 mm (10") između položenog cjevovoda i risera platforme Ike JZ 47
Tablica 7-5. Podatci o umetku za povezivanje cjevovoda promjera 76,2 mm (3") između položenog cjevovoda i risera platforme Ike JZ 48

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Tipičan prikaz podmorskih cjevovoda i struktura 3
Slika 2-2. Podvodni plinovod Langeled 3
Slika 3-1. Tegljenje cjevovoda po površini mora 7
Slika 3-2. Tegljenje cjevovoda u ovješenom stanju 8
Slika 3-3. Tegljenje cjevovoda po morskom dnu 9
Slika 3-4. S – sustav polaganja cjevovoda 10
Slika 3-5. J – sustav polaganja cjevovoda 11
Slika 3-6. Sustav polaganja cjevovoda korištenjem bubnja za namatanje 12
Slika 4-1. Madrac za stabilizaciju i zaštitu cjevovoda 14
Slika 4-2. Tehničko istezanje cjevovoda 15
Slika 5-1. Tipični cijevni umetak Z oblika za povezivanje cjevovoda 16
Slika 5-2. Horizontalni umetak za povezivanje cjevovoda 17
Slika 5-3. Vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda 17
Slika 5-4. Kutno i uzdužno odstupanje između prirubnica 22
Slika 5-5. Sile koje mogu djelovati na spojnicu/prirubnicu 23
Slika 5-6. Prirubnica s vijcima 24
Slika 5-7. Tipična obujmica 25
Slika 5-8. Obujmice koje se koriste na ronilici na daljinsko upravljanje 26
Slika 5-9. Spojnica u obliku čahure 27
Slika 5-10. Presjek spojnice u obliku čahure 27
Slika 6-1. Mjerenje udaljenosti između spojnica akustičnom metodom 32
Slika 6-2. Ploča s kutomjerom postavljena zateznim mehanizmom 33
Slika 6-3. Ploča s kutomjerom postavljena vijcima 33
Slika 6-4. Ploče s kutomjerima za podvodna mjerenja zategnutom žicom 34
Slika 6-5. Dvije povezane ploče s dva kutomjera za podvodna mjerenja zategnutom žicom 35
Slika 6-6. Shema sustava za tipična mjerenja zategnutom žicom 35
Slika 7-1. Platforma IKA JZ 38
Slika 7-2. Eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran te polje Izabela 41
Slika 7-3. Oblik „S“ i „L“umetka za povezivanje cjevovoda 44
Slika 7-4. Mekane nosive trake (brage) za podizanje i spuštanje tereta 50

Slika 7-5. Vreća za niveliranje 50
Slika 7-6. Tipično spuštanje i podizanje umetka pomoću vreća za liveliranje 51
Slika 7-7. Tirfor vitlo 52
Slika 7-8. Privezivanje barže za DSV 53
Slika 7-9. Podizanje umetaka za platformu IKA JZ 53
Slika 7-10. Podizanje umetaka za platformu IKA A 54
Slika 7-11. Slijed podizanja umetaka s barže 54
Slika 7-12. Povezivanje prirubnica korištenjem tirfor vitla i koničnih zatika 56
Slika 7-13. Usadni vijak 57
Slika 7-14. Postavljanje vijaka za hidraulično dotezanje 58
Slika 7-15. Hidrulička alatka za dotezanje vijaka 59
Slika 7-16. Hidrulička alatka za dotezanje vijaka, te mala poluga 60

POPIS OZNAKA

ΔL - ukupno istezanje cjevovoda [m]

α - koeficijent toplinskog istezanja [$°C^{-1}$]

Lo - dužina cjevovoda [m]

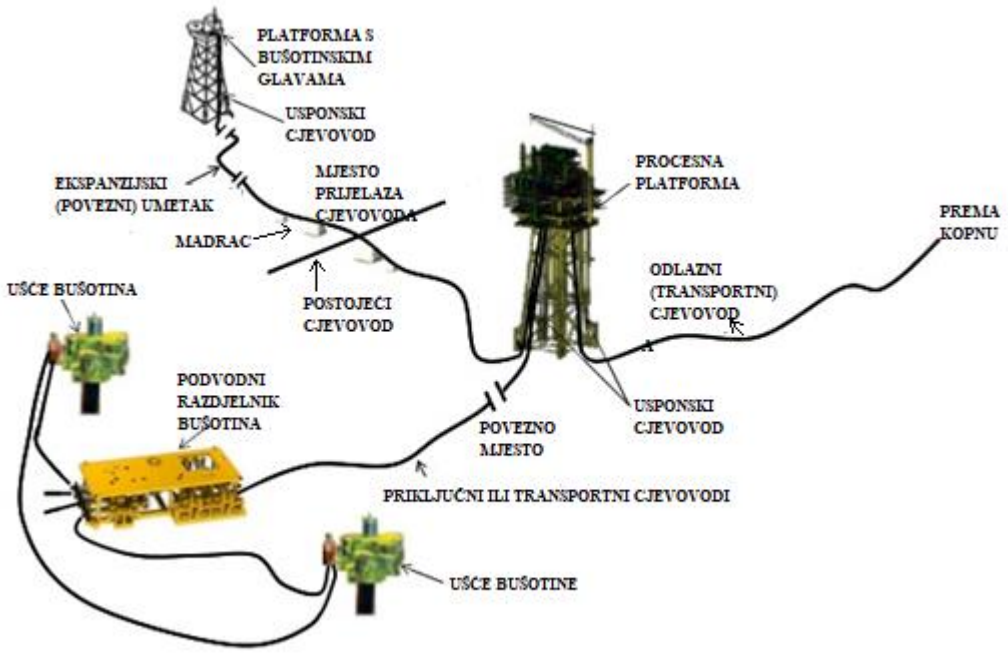
ΔT – promjena temperature [°C]

1. Uvod

U naftnoj industriji, podmorski cjevovodi se koriste za transport nafte i plina s proizvodnih odobalnih polja, s jedne lokacije na drugu. Nakon polaganja podmorskog cjevovoda, cjevovod se povezuje s proizvodnom platformom usponskim cijevima (engl. *risers*) spojnim (poveznim, ekspanzijskim) umetkom za priključivanje cjevovoda (engl. *tie in spool*). Polaganje cjevovoda nikad nije posve precizno iz niza razloga, kao što su: postojeća instalirana infrastruktura na dnu mora, položaj i orijentacija usponskih cijevi na platformama s obzirom na plovila za postavljanje cjevovoda, odnosno završetak položenog cjevovoda, dubina mora i reljef morskog dna itd. Prema tome umetak za priključivanje cjevovoda se premjerava, izrađuje i postavlja nakon polaganja cjevovoda. Zbog razlike tlaka i temperature tijekom polaganja i rada cjevovoda dolazi do njegova istezanja, stoga umetak za povezivanje cjevovoda treba biti fleksibilan. Zbog fleksibilnosti umetka za povezivanje cjevovoda sile u spojevima su smanjene i time se osigurava siguran transport ugljikovodika. Ovi ključni zahtjevi mogu imati značajan utjecaj na ukupan trošak projekta jer uključuju sve potrebne zahvate za povezivanje cjevovoda s usponskim cijevima.

2. O cjevovodu općenito

Podmorski cjevovod je cjevovod položen na morsko dno ili ukopan ispod morskog dna. Služi za transport nafte, plina ili vode. Tipičan prikaz podmorskih cjevovoda i struktura prikazan je na slici 2-1. Specifikaciju cijevi i njihovo varenje su u sukladnosti s API /1/ i Det Norske Veritas standardima /2/. Cijevi mogu biti bešavne ili šavne (Pavlica, 2004). Promjer čeličnog podmorskog cjevovoda za transport ugljikovodika, vode, emulzija te otpadne vode najčešće je u rasponu od 76 mm (3") do 1372 mm (54"). Čelik koji se koristi za ovakav cjevovod je velike čvrstoće popuštanja, 350 – 500 MPa (50000 – 70000 psi). Debljina stijenke cjevovoda je u rasponu od 10 mm do 76 mm (3/8" do 3")(Gerwick, 2007). Cjevovod se štiti od korozije zaštitnim oblogama poput epoksidne smole ili bitumena i katodnom zaštitom, tj. na cjevovod se postavljaju žrtvene anode. Oblaganje cjevovoda betonom ili stakloplastikom je dodatna zaštita od abrazije. Oblaganje cjevovoda betonom sprečava plovnost cjevovoda kad se primjerice transportira plin čija je gustoće manja od gustoće morske vode. Unutrašnje stijenke cjevovoda nemaju nikakvu zaštitnu oblogu ako se transportiraju ugljikovodici, ali ako se transportiraju voda ili korozivni medij mogu se zaštititi epoksidnom smolom, poliuretanom ili polietilenom, a mogu se i cementirati. U naftnoj industriji, gdje istjecanje nafte i plina nije dozvoljeno, cjevovod se dubinski vari (engl. *full penetraton welding*) i koriste se mehaničke spojnice. Kalibracijski čistač je dio standardne opreme cjevovoda. Koristi se za ispitivanje hidrostatičkog tlaka, traženje neravnina unutar cjevovoda, periodično čišćenje cjevovoda i za manje popravke cjevovoda. Cjevovodi mogu biti dužine od nekoliko stotina metara do nekoliko stotina kilometara. Najdulji podmorski cjevovod na svijetu, prije završetka izgradnje Sjevernog toka, bio je Langeled, promjera 1118 mm (44") i duljine 1166 kilometara (GASSCO, 2019). Tim cjevovodom se transportira plin od Nyhamna (Norveška), preko platforme Sleipner u Sjevernom moru, do Easingtona (Ujedinjeno Kraljevstvo) (slika 2-2). Plin se iskorištava iz plinskog polja Ormen Lange.



Slika 2-1. Tipičan prikaz podmorskih cjevovoda i struktura (Rangapure, 2013)



Slika 2-2. Podvodni plinovod Langeled (Bright Hub Engineering, 2019)

2.1. Odabir rute cjevovoda i točke pristupa

Jedna od prvih i najkritičnijh zadaća u planiranju polaganja cjevovoda je odabir rute cjevovoda. Odabir rute cjevovoda ovisi o politici, geografskom položaju, odnosno reljefu morskog dna, fizičkim faktorima i korištenju morskog dna (ako je već zauzeto). Prije odabira rute cjevovoda potrebno je proučiti geografske karte, batimetrijske podatke, ribolovna područja, satelitske fotografije i slično.

Kada je kraj cjevovoda postavljen na morsko dno gotovo je nemoguće u potpunosti postići željenu planiranu poziciju polaganja. Postoje brojni faktori koji utječu na preciznost dostizanja konačne točke, kao na primjer:

- nesigurnosti koje se odnose na mjerenje morske dubine određene su preciznošću tehnika i metoda za prikupljanje podataka. U obzir je važno uzeti i svojstva područja morskog tla zbog taloženja, slijeganja i klizanja morskog tla,
- o mogućnostima pozicioniranja plovila za postavljanje cjevovoda ovisi završna točka cjevovoda,
- kako se postavljanje cjevovoda bliži kraju, fizička ograničenja na moru poput postojećih platformi, rešetkastih bušaćih platformi, poluuronjivih platformi i ostalih plovila mogu utjecati na preciznost. Ispod morske površine, tj. na morskom dnu, stari cjevovodi, sidra i kruti otpad također utječu na preciznost dohvata krajnje točke cjevovoda.

2.1.1. Reljef morskog dna

Važan fizički faktor u polaganju podmorskog cjevovoda je reljef morskog dna. Bitno je je li dno mora ravno ili neravno. Ako je neravno, između dva vrha reljefa morskog dna cjevovod neće imat oslonac o morsko dno u tom razmaku. Ako je dužina cjevovoda bez oslonca o morsko dno predugačka može doći do savijanja cjevovoda usred vlastite težine. Vibracije i statički elektricitet mogu također utjecati na cjevovod. Korekcijske mjere za dužine cjevovoda bez oslonca na morsko dno uključuju poravnavanje morskog dna, instaliranje oslonca za cjevovod o morsko dno i popunjavanje praznog prostora između cjevovoda i morskog dna pijeskom. Čvrstoća morskog dna je također važan parametar. Ako tlo morskog dna nema dovoljnu čvrstoću cjevovod može utonuti u morsko dno. S druge strane, kod stjenovitog morskog dna kopanje kanala za postavljanje cjevovoda je skupo, a na povišenim točkama dna dolazi do abrazije i oštećenja vanjske zaštitne obloge cjevovoda.

Ostali fizički faktori koje treba uzeti u obzir prilikom polaganja podmorskog cjevovoda su morske pješčane dine, pomicanje i raslojavanje morskog dna, morske struje, valovi, ledene sante itd. Potrebno je uzeti u obzir i ribarske zone zbog koči i mreža, ostale cjevovode u moru, sidra i vojne aktivnosti.

3. Polaganje podmorskog cjevovoda

Cijevi za cjevovod prije polaganja moraju proći određene faze predizrade kao što su: pjeskarenje, priprema površine, nanošenje antikorozijske i betonske obloge i montaža anoda na cijev. Cijevi su prosječne duljine 12 metara i prije zavarivanja se moraju provjeriti i očistiti iznutra. Nakon toga se cijevi transportiraju na teglenicu koja će izvesti polaganje cjevovoda (Pavlica, 2004). Postupak polaganja podmorskog cjevovoda podrazumijeva: spajanje velikog broja cijevi u dugačku liniju cjevovoda i postavljanje linije cjevovoda duž rute. Polaganje cjevovoda u more ovisi o fizičkim i vremenskim uvjetima, dostupnosti opreme, dubini mora, dužini i širini cjevovoda i prisutnosti drugih cjevovoda ili objekata duž rute. Postoje 4 metode polaganja podmorskog cjevovoda (Gerwick, 2007):

- povuci/tegli sustav polaganja, (engl. *Pull/tow*),
- S – sustav polaganja (engl. *S-lay system*),
- J - sustav polaganja (engl. *J-lay system*),
- sustav polaganja cjevovoda preko bubnja za namatanje (engl. *Reel-lay system*).

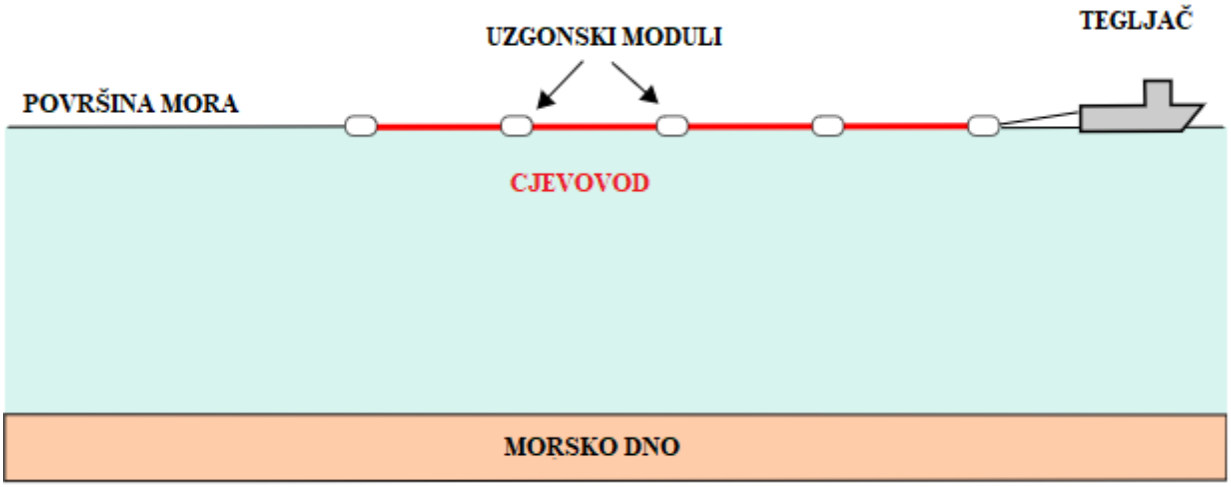
3.1. Povuci/tegli sustav polaganje cjevovoda

Kod ovog načina postavljanja cjevovoda na morsko dno, cjevovod se sastavlja na kopnu te se zatim tegli na lokaciju. Sastavljanje cjevovoda je paralelno ili okomito na obalu što znači da se cijeli cjevovod može sastaviti na obali i odvući na lokaciju. Prednost ovog načina polaganja cjevovoda je u tome što se ispitivanja cjevovoda mogu obaviti na obali, a ne u moru. Postoji nekoliko načina tegljenja cjevovoda do lokacije (Gerwick, 2007):

- tegljenje po površini mora,
- tegljenje neposredno ispod površine mora,
- tegljenje po srednjoj dubini mora,
- tegljenje neposredno iznad morskog dna,
- tegljenje po morskom dnu.

3.1.1. Tegljenje po površini mora

Prilikom tegljenja po površini mora (engl. *surface tow*) cjevovod cijelo vrijeme pluta na površini mora, a polaže se, to jest potapa na morsko dno kad se dotegli na lokaciju. Za ovakvo tegljenje cjevovod mora plutati što se izvodi tako da se na cjevovod dodaju plutajući elementi (uzgonski moduli) (slika 3-1.). Tegljenje cjevovoda po površini mora nije primjenjivo za uzburkana, valovita mora i uz prisustvo bočne morske struje (Gerwick, 2007).



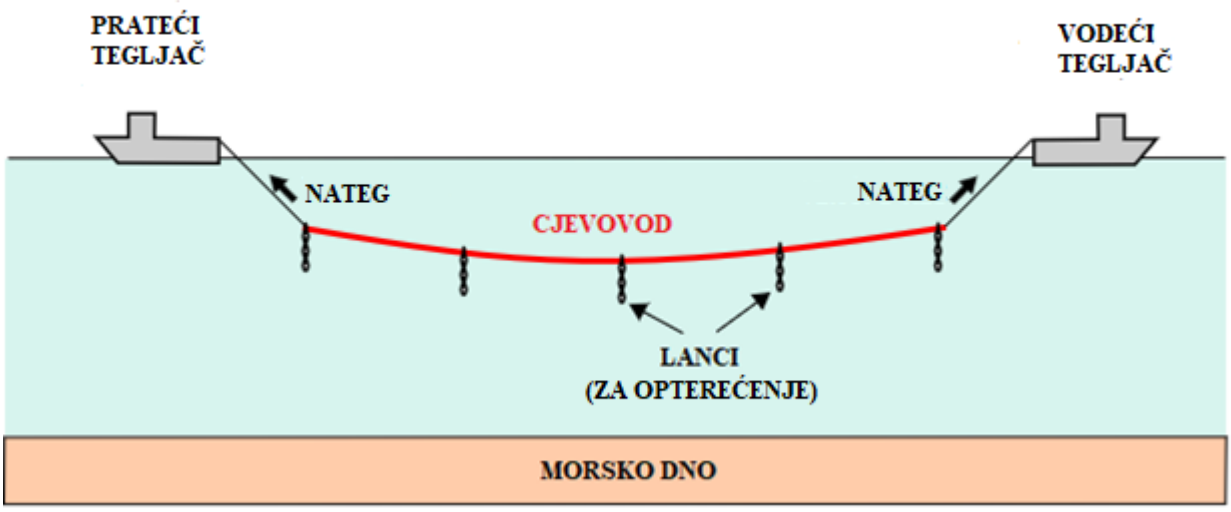
Slika 3-1. Tegljenje cjevovoda po površini mora

3.1.2. Tegljenje neposredno ispod površine mora

Cjevovod se tegli ispod, ali blizu površine mora. Na taj način se ublažava djelovanje valova na cjevovod. Cjevovod se održava neposredno ispod površine mora pomoću plutača koje su osjetljive na djelovanje valova, pa tegljenje može biti otežano (Gerwcik, 2007).

3.1.3. Tegljenje po srednjoj dubini mora

Cjevovod ne pluta zato što je velike mase ili je otežan lancima. Cjevovod zauzima blagi konkavni oblik i pričvršćen je između dva broda za tegljenje (slika 3-2). Konkavni oblik nastaje zbog težine cjevovoda i vlačnog naprezanja jer je cjevovod „ovješen“ između dva broda a podržava ga sila uzgona. Ovješenost cjevovoda, to jest konkavni oblik ograničen je dubinom mora.



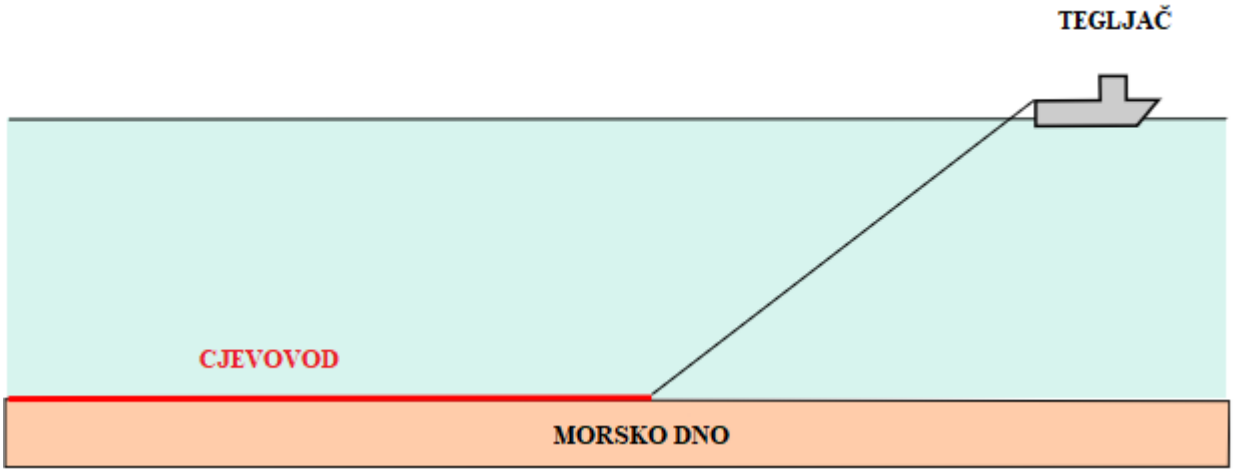
Slika 3-2. Tegljenje cjevovoda u ovješenom stanju

3.1.4. Tegljenje neposredno iznad morskog dna

Ovaj način tegljenja je sličan tegljenju po srednjoj dubini mora, ali cjevovod lebdi 1 do 2 metra od morska dna. Lebdenje se osigurava balansom između lanaca i plutača (Gerwcik, 2007).

3.1.5. Tegljenje po morskom dnu

Cjevovod se vuče po morskom dnu što je prikazano na slici 3-3. Morski valovi i struje ne djeluju na cjevovod. U slučaju nevremena brod za tegljenje se otkači od cjevovoda i kasnije se ponovno prikači te se operacija nastavlja. Moguće poteškoće prilikom tegljenja cjevovoda po morskom dnu su zaštita cjevovoda od abrazije zbog povlačenja po morskom dnu, interakcija s ostalim cjevovodima i kabelima na dnu mora te reljef morskog dna (Gerwick, 2007).



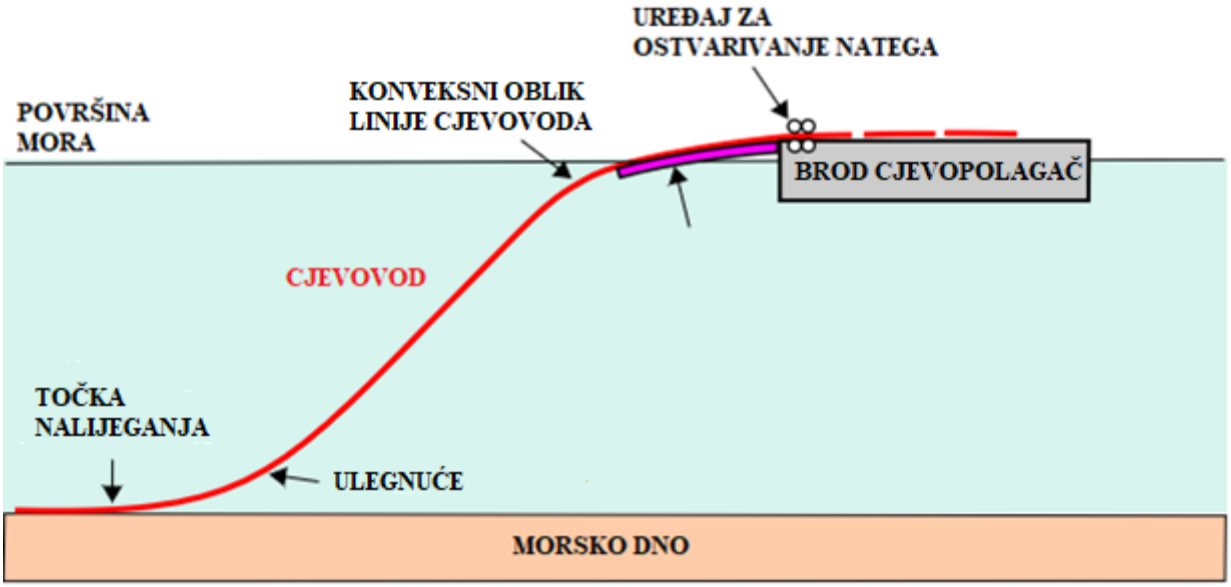
Slika 3-3. Tegljenje cjevovoda po morskom dnu

3.2. S – sustav polaganja

Polaganje cjevovoda se radi na lokaciji korištenjem broda za postavljanje opremljenim za metodu S – polaganja cjevovoda. Oznaka „S“ označava oblik koji cjevovod poprima prilikom polaganja na morsko dno. Cjevovod se spušta s krme broda preko rampe za polaganje (engl. *stinger*) i ima konveksan oblik. Što se više spušta prema dnu poprima konkavni oblik u dodirnoj točki s dnom. Konkavnost se kontrolira s broda pomoću uređaja za ostvarivanje natega. Na slici 3-4. prikazan je S-sustav polaganja cjevovoda (Gerwick, 2007).

Uređaj za ostvarivanje natega (engl. *tensioner*) održava radijus savijanja kako ne bi došlo do prenaprezanja cijevi (Pavlica, 2004).

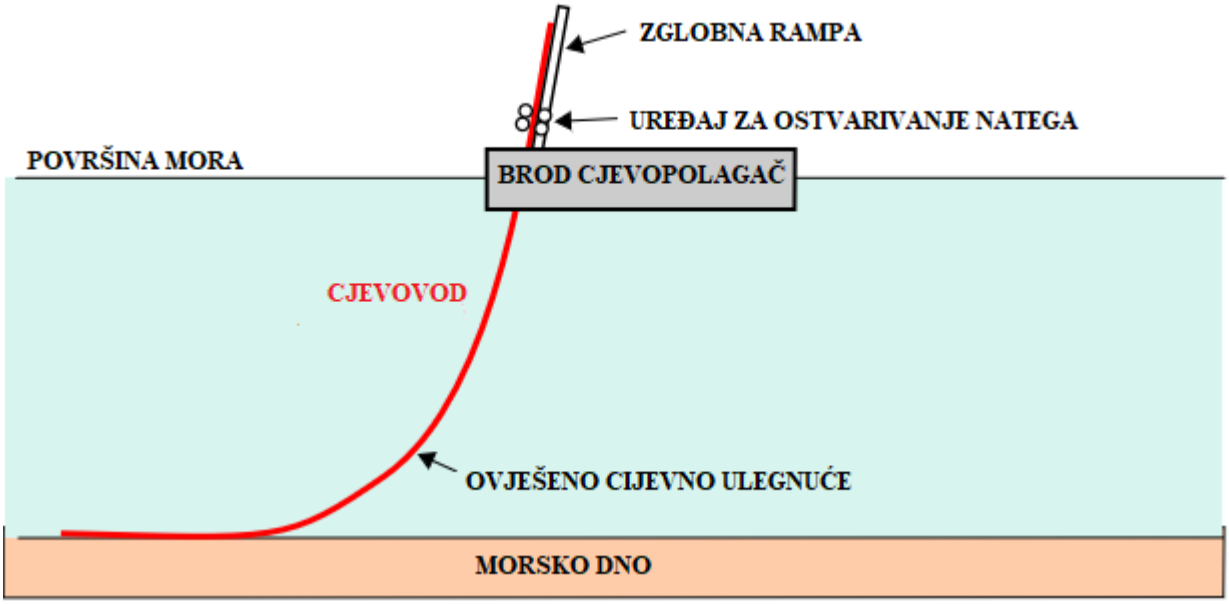
Polaganje se cijelo vrijeme nadzire kako ne bi došlo do oštećenja cjevovoda zbog prenaprezanja cijevi. Zadnja istraživanja u polaganju cjevovoda na morsko dno uključuju dinamičko pozicioniranje i J – sustav polaganja cjevovoda na morsko dno (Gerwcik, 2007).



Slika 3-4. S – sustav polaganja cjevovoda

3.3. J – sustav polaganja

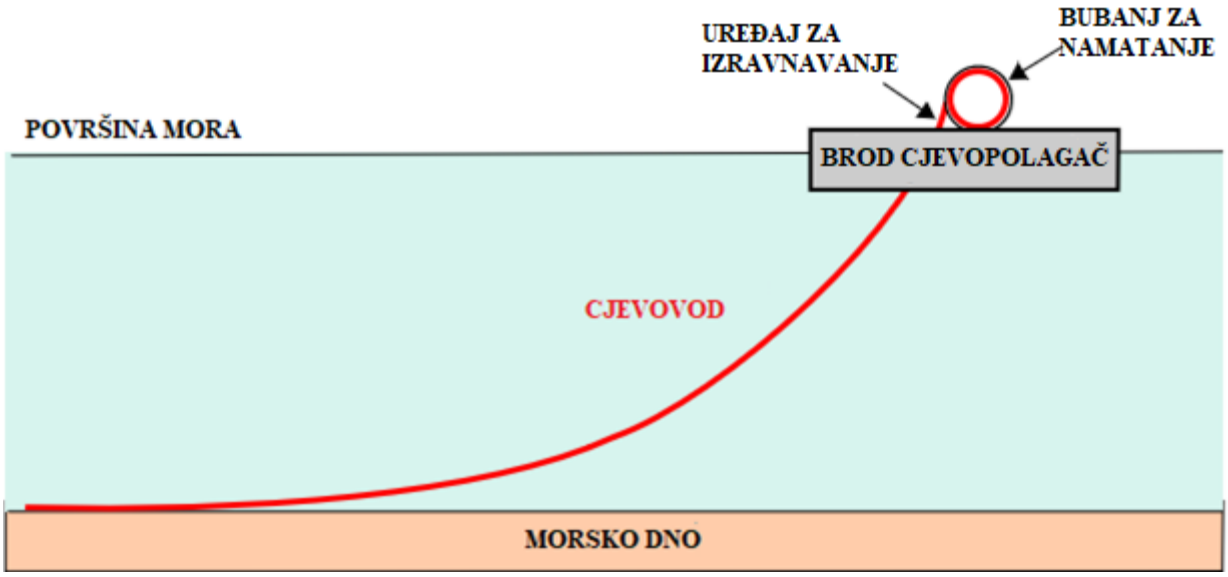
U području dubokih mora S – sustav polaganja nije pogodan jer bi rampa na krmi broda preko koje se spušta cjevovod, bila gotovo okomita na dno pa je J – sustav polaganja cjevovoda prikladniji za duboka mora. Kod J – sustava polaganja, cjevovod se spušta u more s gotovo okomite rampe ili tornja (slika 3-5). Cjevovod ne poprima konveksni, već samo konkavni oblik. Također manje je izložen valovima jer okomito ulazi u more. Prednost S – sustava polaganja je što ima više stanica za varenje duž cijelog plovila dok J – sustav polaganja ima samo jednu stanicu za varanje. Stoga se koriste napredne metode automatskog zavarivanja (Gerwick, 2007).



Slika 3-5. J – sustav polaganja cjevovoda

3.4. Postavljanje cjevovoda preko bubnja za namatanje

Cjevovod se namata na velike bubnjeve (engl. *reel*) koji se nalaze na brodovima za ovakav sustav postavljanja cjevovoda. Čelik mora biti dovoljno savitljiv da se namota na bubanj. Nema zavarivanja pa su troškovi manji. Zatim brod odlazi na lokaciju gdje započinje polaganje cjevovoda. Cijevi se spuštaju preko bubnja za namatanje. Tijekom spuštanja cijevi se izravnavaju i manjeg su promjera nego kod primjene ostalih sustava polaganja (Gerwick, 2007). Postavljanje cjevovoda preko bubnja za namatanje prikazano je na slici 3-6.



Slika 3-6. Sustav polaganja cjevovoda korištenjem bubnja za namatanje

4. Stabilizacija podmorskog cjevovoda

Pored uobičajenog polaganja cjevovoda na morsko dno postoje i načini njihova ukopavanja i učvršćivanja na morskom dnu. Kada se cjevovod polaže po tvrdom neravnom morskom dnu, potrebna je stabilizacija cjevovoda da se spriječe ulegnuća, pomicanje i oštećenje cjevovoda. Za stabilizaciju i zaštitu podmorskih cjevovoda, koriste se zasebno ili u kombinacijama sljedeće metode (Bevan, 2010):

- kopanje kanala i zakopavanje cjevovoda,
- madraci,
- sidra,
- betonska sedla,
- pješčane vreće i
- prekrivanje šljunkom.

Za stabilizaciju Langeled plinovoda koji se polagao na dubinama i do 1000 m, ulegnuća cjevovoda bila su i do 100 m. Uz pješčane vreće koristili su se i čelični potporni skeleti za potporu i stabilizaciju plinovoda (Gerwick, 2007).

4.1. Kopanje kanala i zakopavanje cjevovoda

Zakopavanjem se cjevovod štiti od neprestanog djelovanja valova, sidara, kočarica i ostalih ribarskih pomagala. Zakopavanje cjevovoda omogućuje i izradu cijevi manje ukupne težine jer je potrebno manje betonskog obloga oko cijevi. Kopanje kanala za polaganje cjevovoda može se raditi prije ili poslije polaganja cjevovoda.

Metode kopanja kanala i zakopavanja su (Palmer i King, 2004):

- korištenjem mlaznice,
- mehaničko kopanje,
- kopanje oranjem i
- jaružanje.

4.2. Madraci

Madraci se koriste za stabilizaciju i zaštitu cjevovoda od mreža i sidara. Napravljeni su najčešće od betonskih blokova koji su spojeni užetom (slika 4-1). Madraci se mogu staviti preko cjevovoda, i ispod cjevovoda. U najviše slučajeva se koriste madraci od betona. Betonski madraci su dovoljno teški da drže cjevovod na mjestu (Bevan, 2010).



Slika 4-1. Madrac za stabilizaciju i zaštitu cjevovoda (MACCAFERRI CORPORATE, 2019.)

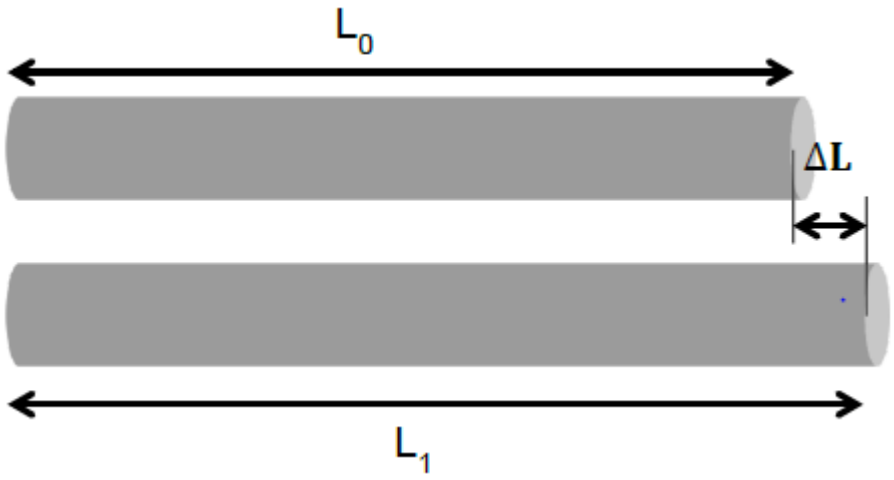
4.3. Istezanje cjevovoda

Cjevovod/plinovod na dnu mora ima jednaku temperaturu kao i more koje ga okružuje. S obzirom da je temperatura fluida, to jest ugljikovodika koji se transportira cjevovodom, veća i do nekoliko puta od temperature cjevovoda, cjevovod se uslijed povećanja temperature širi i produžuje što se vidi na slici 4-2. Veličina L_1 je pritom ukupna dužina produljenog cjevovoda.

Ukupno istezanje cjevovoda (ΔL) jednako je umnošku dužine cjevovoda (Lo), promjene temperature (ΔT) i koeficijenta toplinskog istezanja (α) (Engineering ToolBox, 2003):

$$\Delta L = \alpha \times L\text{o} \times \Delta T \tag{4-1}$$

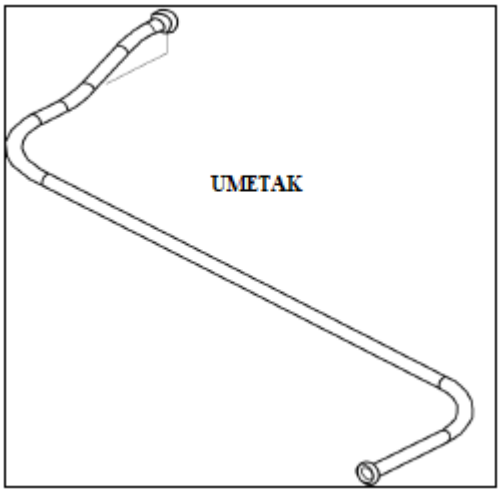
Koeficijent toplinskog istezanja ovisi o materijalu koji se koristi. U svrhu zaštite cjevovoda od istezanja koriste se kompenzacijska petlja za istezanje (engl. *expansion loop*), to jest ekspanzijski umetak i umetak za povezivanje cjevovoda (engl. *tie-in spool*).



Slika 4-2. Tehničko istezanje cjevovoda (Lyssand, 2015)

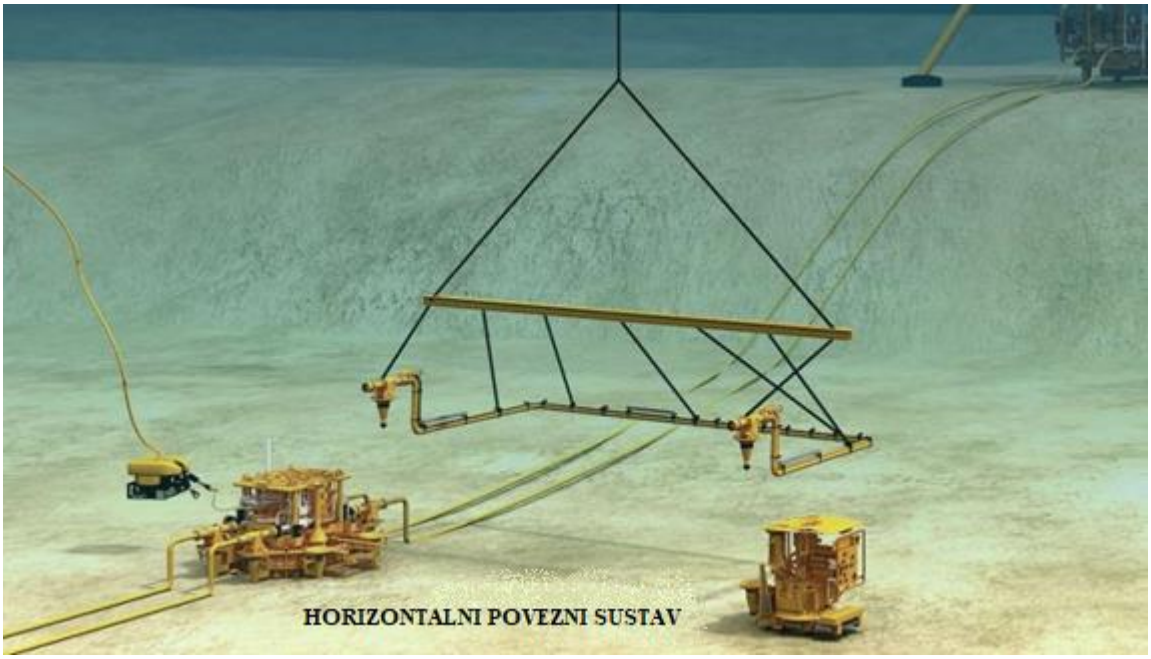
5. Umetci za povezivanje/priključivanje cjevovoda/plinovoda

Nakon što je cjevovod položen potrebno ga je povezati s usponskim cijevima proizvodne platforme. Za povezivanje cjevovoda s proizvodnom platformom koriste se ekspanzijski/povezni umetci. Umetak za povezivanje cjevovoda je kratka cijev napravljena da ispravi otklon između položenog cjevovoda i usponskih cijevi proizvodne platforme, te da kompenzira istezanje cjevovoda što je spomenuto u podpoglavlju 4.3. Umetak za spajanje cjevovoda mora zadovoljiti niz zahtjeva, a glavni zahtjev je siguran transport ugljikovodika dok je cjevovod izložen istezanju. Umetci za povezivanje cjevovoda se izrađuju u različitim oblicima, a najčešće su Z, U i L oblika. Tipični umetak Z oblika za povezivanje cjevovoda prikazan je na slici 5-1.

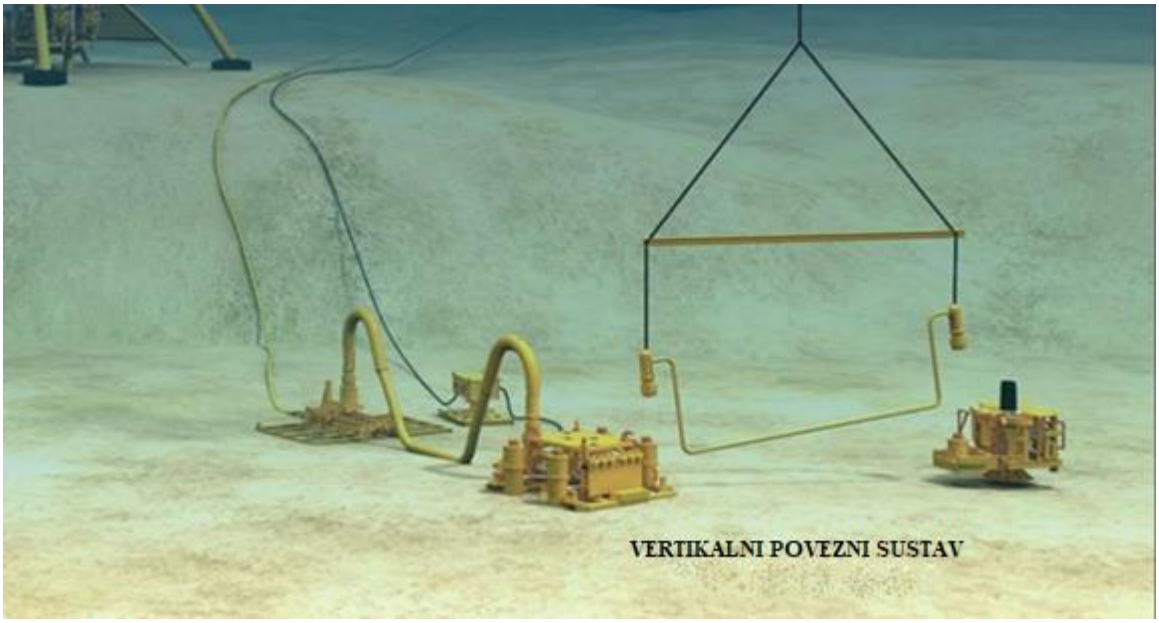


Slika 5-1. Tipični cijevni umetak Z oblika za povezivanje cjevovoda (Lyssand, 2015)

Umetci za povezivanje cjevovoda mogu biti horizontalno položeni (engl. *spool*), kao i vertikalni (engl. *jumper*). Na slici 5-2. prikazan je horizontalni, a na slici 5-3. vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda.



Slika 5-2. Horizontalni umetak za povezivanje cjevovoda (ACHNITA, 2015)



Slika 5-3. Vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda (ACHNITA, 2015)

5.1. Odabir umetka za povezivanje cjevovoda

Razmatranje odabira vertikalnog ili horizontalnog umetka za povezivanje provodi se u pet koraka:

- opće razmatranje,
- izrada umetka za povezivanje cjevovoda,
- odabir spojnice,
- postavljanje umetka za povezivanje cjevovoda,
- operativno razmatranje.

Razmatranje odabira umetka za povezivanje cjevovoda referira se na članake "Advanced deepwater Spool Piece Design by (Chan et al, 2008)" i "Deepwater Tie-ins of Rigid Lines: Horizontal spools or Vertical Jumper by (Corbetta & Cox, 1999)".

5.1.1. Opće razmatranje

Opće razmatranje odnosi se na aspekte koji se razlikuju od svih ostaih kategorija razmatranja odabira umetka za povezivanje cjevovoda, ali jednako je bitno i može imati presudnu ulogu u odabiru umetka. Opće razmatranje prilikom odabira umetka za povezivanje cjevovoda prikazano je u u tablici 5-1.

Tablica 5-1. Opće razmatranje prilikom odabira umetka za povezivanje cjevovoda (Chan et al, 2008; Corbetta i Cox, 2001)

Pokazatelji za procjenu metode povezivanja	**Horizontalni umetak za povezivanje cjevovoda**	**Vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda**
Zauzeta površina morskog dna	Zauzimaju veliku površinu koja se može koristiti i za drugu opremu.	Malo površine zauzeto jer su lukovi u vertikalnom položaju iznad morskog dna.
Trasa polaganja cjevovoda	Trasa polaganja se mijenja ako je prostor morskog dna zauzet.	Vertikalno orijentirani umetak pa se može instalirati bliže objektima na morskom dnu.
Mogućnost koćarenja (engl. *trawl ability*)	Manja vjerojatnost zakačenja.	Veća vjerojatnost zakačenja.
Povezivanje više bušotina (engl. *multibore design*)	Nema značajne razlike. Može se prilagoditi ovisno o vrsti umetka.	Nema značajne razlike. Ovisi o vrsti umetka.
Točnost izmjere potrebnog umetka	Osrednja točnost mjerenja jer se umetak može elastično deformirati.	Potrebno izrazito točno mjerenje, nema korekcija prilikom postavljanja.

5.1.2. Izrada umetka za povezivanje cjevovoda

Razmatranja za izradu, dimenzije i kompleksnost geometrijskog oblika umetka za povezivanje cjevovoda prikazuje tablica 5-2.

Tablica 5-2. Razmatranja za izradu umetka (Chan et al, 2008; Corbetta i Cox, 2001)

Pokazatelji za procjenu metode povezivanja	**Horizontalni umetak za povezivanje cjevovoda**	**Vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda**
Dimenzije	Zauzima veliku površinu, ali izrada se odvija na tlu.	Zauzima malu površinu, ali je za izradu potrebna skela.
Složenost geometrijskog oblika	Uobičajeno je da ima manje koljena. Ušteda vremena izrade.	Općenito vertikalni umetak ima više koljena. Složeniji je geometrijski oblik u odnosu na horizontalni umetak.
Stajališta za izradu	Lagani jer nema potrebe za smještaj tereta, unutrašnje ispitno čvorište (engl. *inboard test hub*) nije potrebno.	Potrebne su brojne strukture kao i funkcionalnost naginjanja poveznog čvorišta.

5.1.3. Odabir spojnice

Konačno povezivanje usponskih cijevi proizvodne platforme i cjevovoda ostvaruje se prirubnicama/spojnicama. Svrha prirubnica je da poveže i zabrtvi povezane strukture. Bez dobro zabrtvljenih prirubnica/spojnica postoji mogućnost istjecanja pa može doći do onečišćenja okoliša. Dobro i pravilno zabrtvljene prirubnice su od velike važnosti kad se transportiraju ugljikovodici. Kako bi se postigla dobra zabrtvljenost, prirubnice za povezivanje cjevovoda se izrađuju na način da budu fleksibilne, tako se mogu savijati i smanjiti naprezanja u spojevima.

U praksi se za vertikalne umetke za povezivanje cjevovoda koriste spojnice u obliku čahure (engl. *collet connector*). U dubokim morima se umetci ugrađuju bez asistencije ronioca.

Također, u zadnje vrijeme se i u plitkim morima sve manje koriste ronioci. Razmatranje odabira prirubnica/spojnice za povezivanje cjevovoda prikazano je u tablici 5-3.

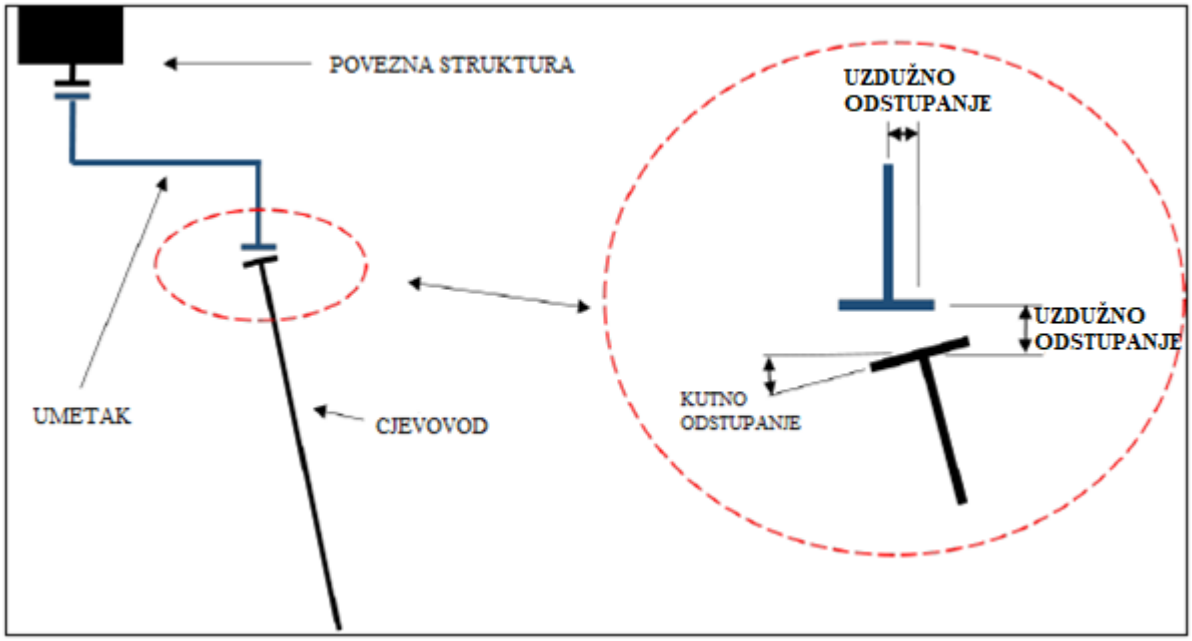
Tablica 5-3. Razmatranja odabira prirubnica/spojnica za povezivanje cjevovoda (Chan et al, 2008; Corbetta i Cox, 2001)

Pokazatelji za procjenu metode povezivanja	**Horizontalni umetak za povezivanje cjevovoda**	**Vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda**
Način spajanja	Najčešće prirubnice.	Najčešće spojnice u obliku čahure.
Složenost spojnice	Jednostavna spojnica, male težine u odnosu na vertikalnu.	Složena spojnica, velike težine.
Troškovi	Srednje do veliki.	Veliki.
Oštećenje brtve	Mala vjerojatnost oštećenja, spajanje se izvodi u nekoliko operacija.	Spajanje se izvodi u jednoj operaciji pa je vjerojatnost oštećenja veća.
Veličina unutrašnjeg otvora na strukturama	Potrebna dodatna dužina i težina za horizontalnu strukturu.	Vrlo kompaktni sklop.
Torzijsko opterećenje	Može preuzeti velika opterećenja.	Ne može preuzeti velika opterećenja.
Ronioci / bez ronioca	Ronioci / bez ronioca.	Bez ronioca.

5.1.3.1. Opterećenje prirubnice

Prirubnica treba izdržati visoke tlakove, savijanje i torzijska opterećenja. Kada se cjevovod izdužuje, prirubnica za spajanje cjevovoda osigurava fleksibilnost kako bi se mogao savijati. Te deformacije uzrokoju aksijalna opterećenja i savijanja na spojnicama (Duckworth, Supple, i Neilson, 1986)

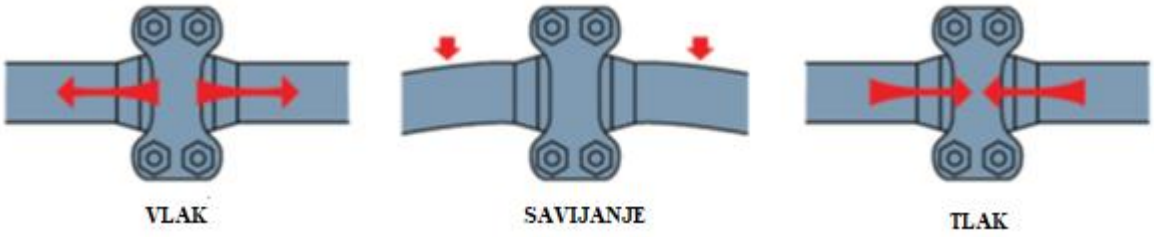
Dva su važna kriterija kod odabira prirubnice (slika 5-4.), ispravljanje odstupanja/otklona između prirubničkih spojeva te sposobnost prirubnice da izdrže razna opterećenja. Sposobnost prirubnice da izdrži opterećenja osigurava kvalitetno brtvljenje.



Slika 5-4. Kutno i uzdužno odstupanje između prirubnica (Lyssand, 2015)

Kutno i uzdužno odstupanje između prirubnica (engl. *design of subsea spools*) treba se ispraviti prilikom dotezanja kako bi spojnice mogle izdržati dodatna opterećenja kojima su izložene.

Na slici 5-5. prikazana su najvažnija opterećenja koje tipična spojnica (engl. *flange*) prirubnica treba izdržati. Uz vlačne sile i tlačne sile te sile savijanja sile važno je da prirubnica s vijcima izdrži i torzijska opterećenja.



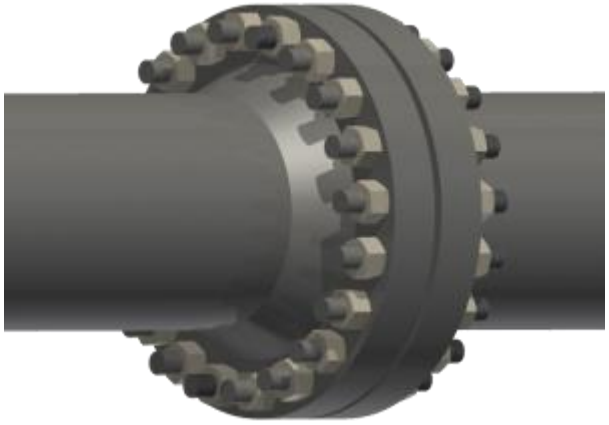
Slika 5-5. Sile koje mogu djelovati na spojnicu/prirubnicu (Slettebø, 2012)

Postoji nekoliko načina povezivanja krajeva cijevi, a najčešće se koriste prirubnice, obujmice (stezaljke), spojnice u obliku čahure i hiperbarično varenje.

5.1.3.2. Prirubnica

Prirubnica se definira kao izbočeni kraj cijevi ili spojnice koji na sebi može imati provrte za vijke (svornjake) ili se može navrtati, a također može biti spojena zavarivanjem (Perić, 2007). Tipična prirubnica s vijcima prikazana je na slici 5-6.

Prirubnica spojena vijcima koristi metalnu brtvu/uložak/prsten za brtvljenje između dvije prirubničke plohe. Kada se vijci dotegnu metalni uložak se deformira, te dolazi do brtvljenja između dvije prirubnice. Metalni uložak omogućava mali otklon između dvije prirubnice.
Ovaj tip spojnice najčešće se koristi u plitkom moru gdje ronioci sudjeluju u dotezanju vijaka između dvije prirubnice. Posebne ronilice na daljinsko upravljanje (engl. *Remote Operating Vehicle - ROV*) mogu dotezati spojeve prirubnica, ali zahtjevaju dodatni alat koji se pokreće s upravljačkog plovila. Prirubnice su pouzdane spojnice koje se koriste u obalnim i odobalnim sustavima i postrojenjima, ali zahtijevaju dosta vremena za spajanje i dotezanje.

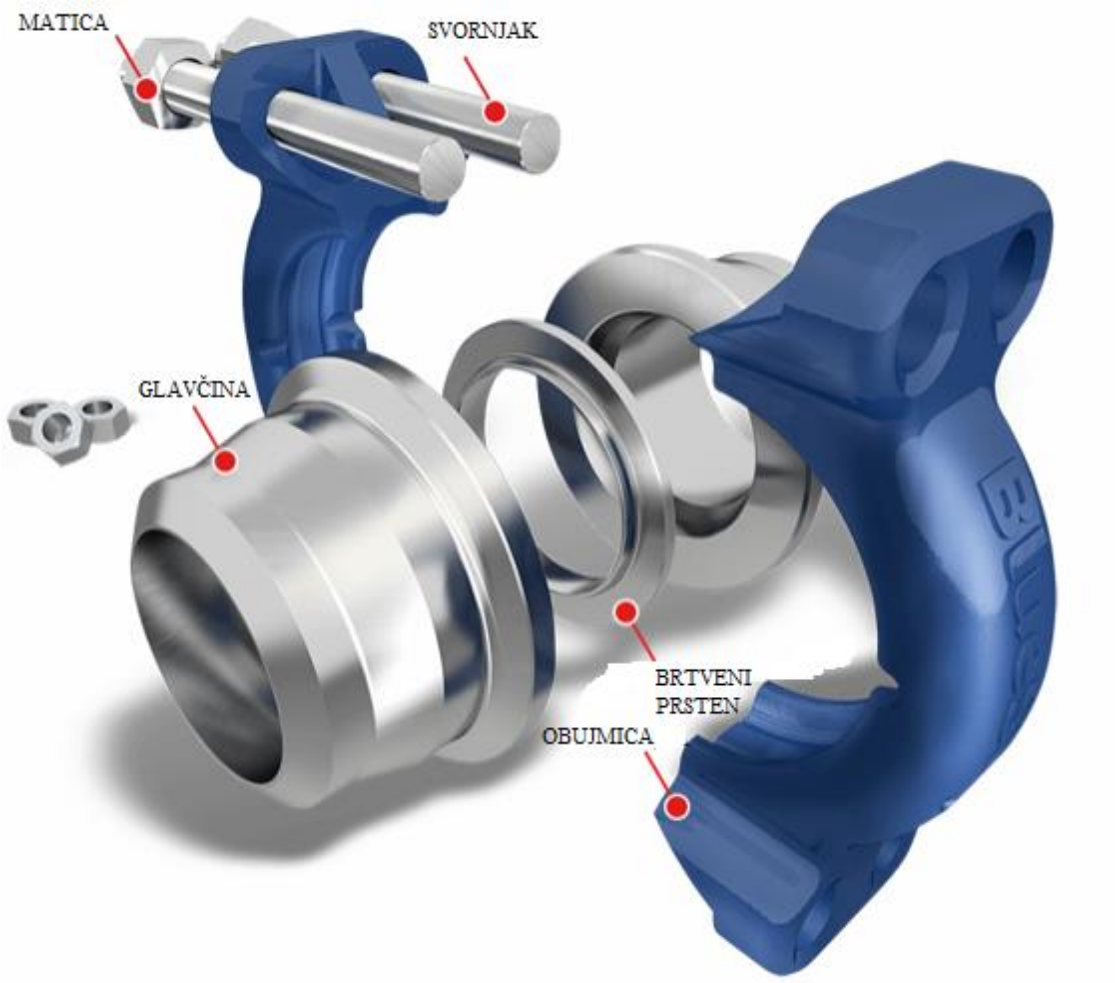


Slika 5-6. Prirubnica s vijcima (EngRx Corp., 2019)

5.1.3.3. Obujmica

Obujmica (stezaljka) je spojnica koja funkcionira na način ili na sličnom principu kao i prirubnica. Metalni prsten/brtva/uložak se postavlja između dvije prirubnice koje se onda obuhvate obujmicom te se vijci dotegnu. Rotacija cijevi kod stezaljke ne predstavlja problem jer ne postoje rupe za vijke koje treba centrirati. Početni dopušteni otklon između cijevi koje

treba spojiti je općenito manji nego kod povezivanja prirubnicom. Tipična obujmica prikazana je na slici 5-7. Za odobalnu upotrebu obujmički spoj se često koristi jer ima manje vijaka za dotezanje pa je značajna ušteda vremena i novca.



Slika 5-7. Tipična obujmica (stezaljka) (Freudenberg Oils & Gas Technologies, 2018)

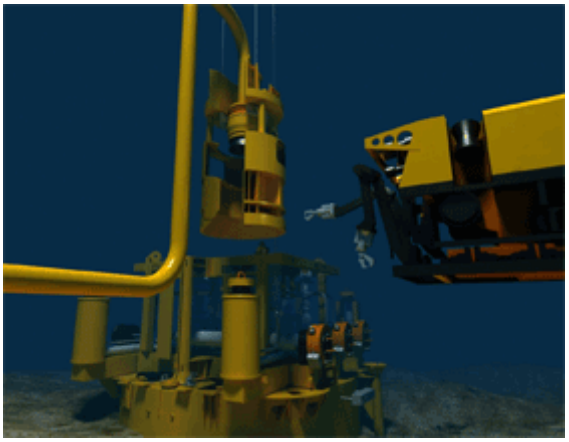
Obujmice na ronilici na daljinsko upravljanje razlikuju se od tipičnih obujmica. Princip postavljanja je isti, ali umjesto postavljanja vijaka sa svake strane cijevi, jedna strana stezaljke ima zglob, a druga strana vijak. Izgled ovog tipa obujmice prikazan je na slici 5-8.



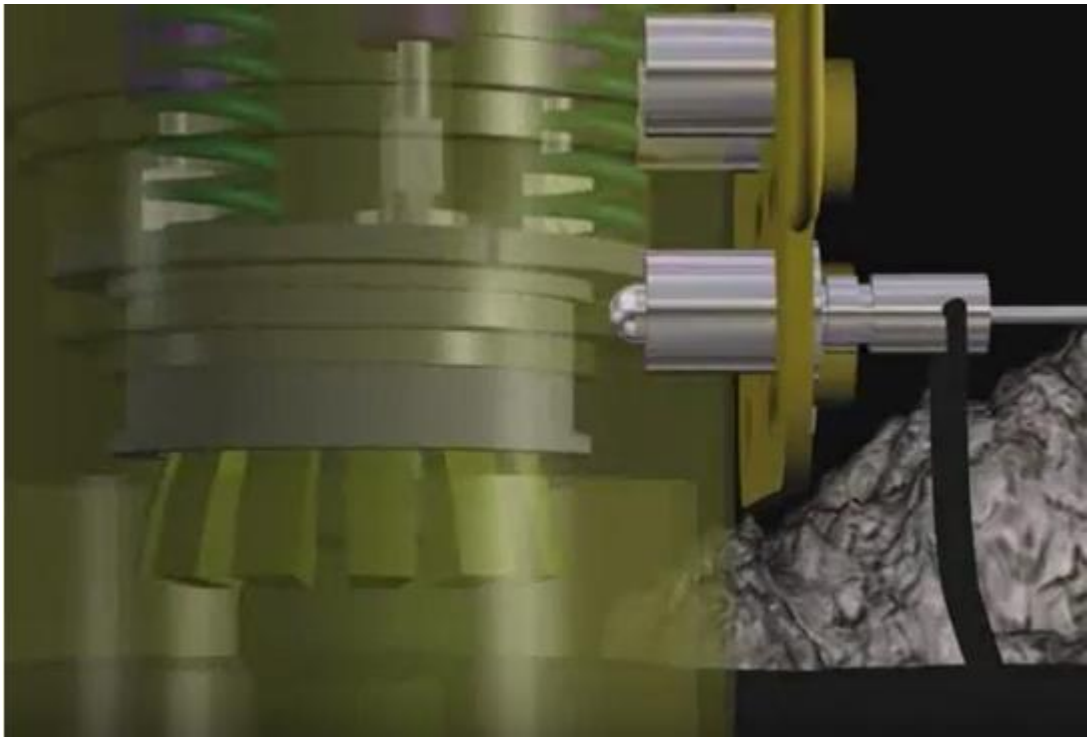
Slika 5-8. Obujmice koje se koriste na ronilici na daljinsko upravljanje (AKER SOLUTIONS, 2012)

5.1.3.4. Spojnica u obliku čahure

Spojnica u obliku čahure (engl. *collet conector*) sastoji se od tijela i tuljca. Na tuljcu je postavljena zasebna spojnica u obliku čahure. S vanjske strane čahure kreće se klizni prsten duž cijele dužine kako bi zaključao ili otključao uređaj (spojnicu). Spoj je ostvaren kompresijom metalnog prstena između tijela i tuljca. Spojnica u obliku čahure ima mogućnost poravnanja tuljca obzirom na kut otklona. Otklon u rotaciji spojnice ne predstavlja problem kod ovog tipa spojnica. Spojnica u obliku čahure prikazana je na slikama 5-9. i 5-10.



Slika 5-9. Spojnica u obliku čahure (FMC Technologies, 2019)



Slika 5-10. Presjek spojnice u obliku čahure (Oil States Industries, 2016)

5.1.4. Postavljanje umetka za povezivanje cjevovoda

Razmatranje odabira vertikalnog ili horizontalnog umetka ovisi i o postavljanju umetka za povezivanje cjevovoda. Za vertikalni umetak potrebno je manje vremena za postavljanje, ali uz povoljnije vremenske uvjete na moru. Protivno vertikalnom, horizontalni umetak zahtijeva više vremena za postavljanje, ali nema posebnih zahtjeva s obzirom na vremenske uvjete na moru. Tablica 5-4. prikazuje usporedbu odabira postavljanja vertikalnog ili horizontalnog umetka za povezivanje cjevovoda.

Tablica 5-4. Usporedba odabira postavljanja vertikalnog ili horizontalnog umetka za povezivanje cjevovoda (Chan et al, 2008; Corbetta i Cox, 2001)

Pokazatelji za procjenu metode povezivanja	**Horizontalni umetak za povezivanje cjevovoda**	**Vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda**
Transport	Jednostavno postavljanje na baržu za tegljenje, ali potrebno više prostora.	Postavljanje na baržu za tegljenje zahtjeva visoke strukture.
Oprema za povezivanje	Složena. Upotreba ROV-a, ako ronioci nisu u mogućnosti asistirati.	Jednostavna. Potreba za upotrebom obavljanja zadataka s ROV-om mala.
Trajanje postupka postavljanja	Dugotrajno.	Brzo postavljanje i brzo povezivanje.
Zahtjev za plovilom za postavljanje	Plovila jednostavnih specifikacija, ali s velikom površinom palube za smještaj umetka.	Veliki zahtjev specifikacija plovila, potrebno vozilo s velikom visinom (engl. *Response Amplitude Operator - RAO*)
Utjecaj vremenskih uvjeta	Mali.	Veliki.
Spojnica i težina spojnice	Jednostavna; prirubnica ili obujmica. Mala težina.	Složena. Spojnica u obliku čahure. Težina nekoliko tona.

5.1.5. Operativno razmatranje

Tablica 5-5. prikazuje neke od opretivnih/radnih parametara pri odabiru umetka za povezivanje cjevovoda.

Tablica 5-5. Operativna razmatranja izbora umetka za povezivanje cjevovoda (Chan et al, 2008; Corbetta i Cox, 2001)

Pokazatelji za procjenu metode povezivanja	**Horizontalni umetak za povezivanje cjevovoda**	**Vertikalni umetak za povezivanje cjevovoda**
Zamjena brtve/uloška	Jednostavna zamjena.	Ovisi o tipu proizvođača, zamjena ROV-om ili podizanje na palubu plovila pa onda zamjena.
Protjecanje fluida	Olakšano protjecanje.	Moguća pojava čepolikog strujanje.
Održavanje	Nema razlike.	Nema razlike.
Kalibracijski strugač/čistač	Opremljen 5D koljenom. 5D koljeno omogućava radijus savijanja cijevi koji je za 5 puta veći od promjera cijevi.	Opremljen 5D koljenom, proces složen. 5D koljeno omogućava radijus savijanja cijevi koji je za 5 puta veći od promjera cijevi.

6. Podvodna mjerenja – izmjera umetka za povezivanje cjevovoda

Nakon polaganja cjevovoda na morsko dno preostaje razmak između krajnje točke cjevovoda i predviđenog mjesta za usponske cijevi proizvodne platforme. Tada stručnjaci za podvodna mjerenja obavljaju izmjere za izradu umetka za povezivanje cjevovoda i usponske cijevi. Na temelju izmjerenih rezultata dizajnira se i izrađuje umetak.

Podvodna mjerenja su postupci koji zahtijevaju točne izmjere za izradu podvodnih struktura, u ovom slučaju umetka za povezivanje cjevovoda. Umetci za povezivanje cjevovoda su potrebni za konačno povezivanje podvodnih infrastruktura kako bi se omogućilo protjecanje/transport ugljikovodika. Svrha podvodnih mjerenja je određivanje relativnog vertikalnog i horizontalnog razmaka između cjevovoda i proizvodne platforme, te njihov relativan pravac i položaj. Točnost je izuzetno važna komponenta podvodnih mjerenja jer spojevi između proizvodne platforme i prirubnice, i prirubnice i cjevovoda moraju savršeno brtviti, te na taj način ostvariti siguran transport ugljikovodika. Pri podvodnom mjerenju najvažnije je utvrditi (International Marine Contractors Association, 2012):

- horizontalni položaj spojnih mjesta (prirubnica/spojnica),
- vertikalni položaj spojnih mjesta,
- dubinu morskog dna na trasi budućeg umetka,
- položaj spojnica (engl. *attitude*),
- azimut umetka,
- kut prilaza umetka.

Primarna problematika svakog mjerenja odnosi se na dio strukture na kojem mjerenja započinju. Idealno bi bilo da mjerenja započinju od centra spojnice plinovoda/cjevovoda ili usponskih cijevi, ali ponekad to nije praktično ili moguće. Na spojnici može biti zaštitna kapa (engl. *pressure cap*), instrumenti za mjerenja mogu biti preveliki da bi stali na spojnicu i tako dalje. Zato je napravljen stalak za senzore koji se naziva „promatračka točka“ (engl. *Observation Point - OP*). U praksi se jedna spojnica uvijek uzima kao glavna, odnosno početna spojnica jer se prema njoj podređuju mjerenja na drugoj spojnici. Odabir početne spojnice temelji se protoku ugljikovodika – prva spojnica kroz koju prolaze ugljikovodici uzima se kao početna spojnica

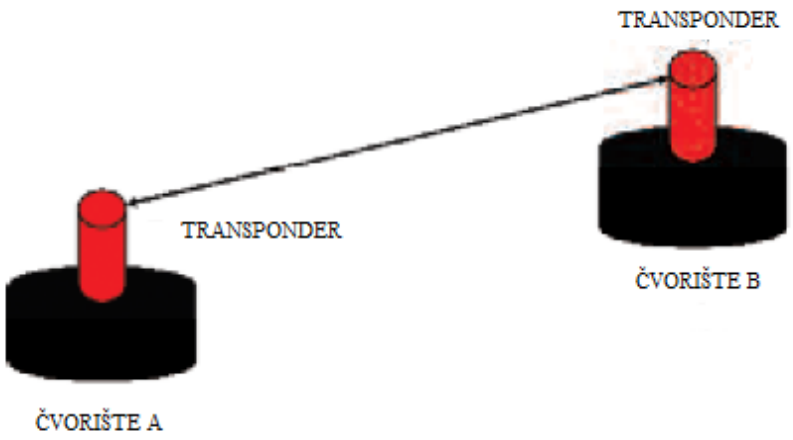
pri podvodnim mjerenjima. Također, ako je ikako moguće, sklopovi za senzore trebali bi biti ugrađeni u strukturu prije nego ista dospije na morsko dno (International Marine Contractors Association, 2012).

Gledajući s vremenskim odmakom, prvo podvodno mjerenje izvršio je ronilac s trakom za mjerenje od prirubnice do prirubnice. Stroži zahtjevi za preciznijim mjerenjima i čvršćim strukturama u dubokim morima, te ograničene dubine rada ronilaca, doveli su do razvoja alternativnih i točnijih metoda podvodnih mjerenja. Najčešće korištene metode su (International Marine Contractors Association, 2012):

1. akustična metoda (engl. *Long Baseline Acoustics - LBL Acoustic*),
2. mjerenje zategnutom žicom (engl. *Diver Taut Wire*),
3. digitalna mjerenja zategnutom žicom (engl. *Digital Taut Wire*),
4. fotogrametrijska metoda (engl. *Photogrammetric Survey*),
5. inercijski navigacijski sustavi (eng. *Inertial Navigation Systems- INS*).

6.1. Podvodna mjerenja akustičnom metodom

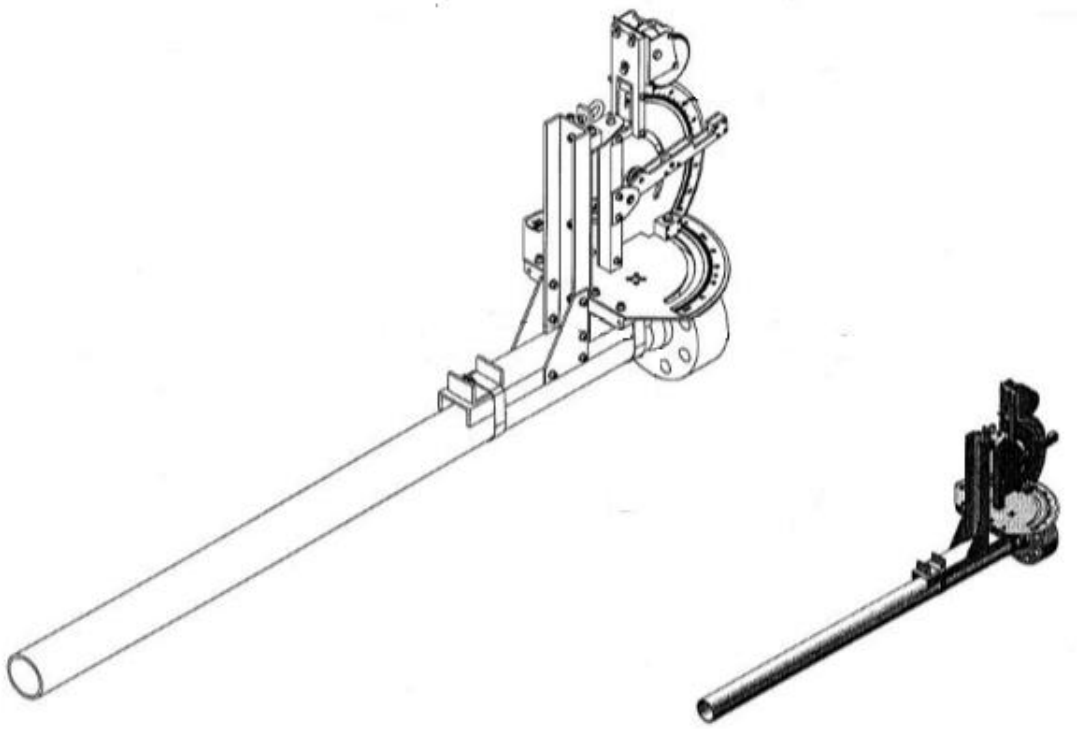
Podvodna mjerenja akustičnom metodom (engl. *LBL Acoustic Metrology*) su danas najčešće korištene metode mjerenja jer je pristupačna i vrlo precizna. Mjerenja se obavljaju pomoću transpondera u međusobnoj vezi šaljući i primajući zvučne valove te se na taj način, poznavajući brzinu zvuka u moru na određenoj lokacji, određuje udaljenost između spojnica. Načelo rada transpondera prikazano je na slici 6-1. Određivanje dubine i položaja spojnice obavlja se pomoću senzora na transponderima. Rezultati mjerenja dobivaju se tijekom nekoliko sati (International Marine Contractors Association, 2012).



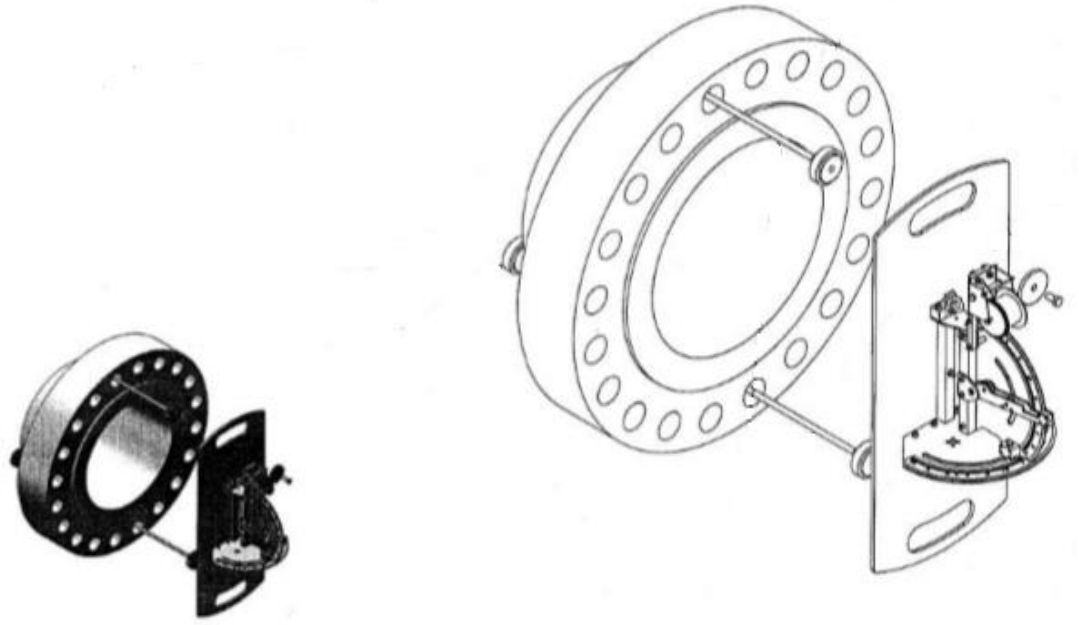
Slika 6-1. Mjerenje udaljenosti između spojnica akustičnom metodom (International Marine Contractors Association, 2012)

6.2. Podvodna mjerenja zategnutom žicom

Podvodna mjerenja zategnutom žicom bila su prva mjerenja koja su obavljali ronioci (International Marine Contractors Association, 2012). Mjerenje se obavlja pomoću dvije odvojene ploče s kutomjerima na njima. Ploče se postavljaju iznad spojnice zateznim mehanizmom (slika 6-2.) ili vijcima (slika 6-3.).



Slika 6-2. Ploča s kutomjerom postavljena zateznim mehanizmom (Abel, 2014)

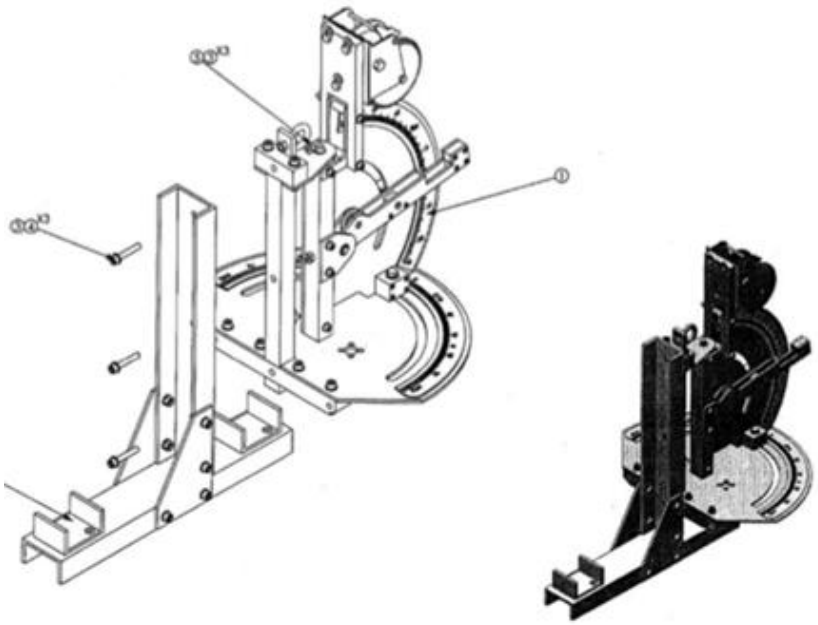


Slika 6-3. Ploča s kutomjerom postavljena vijcima (Abel, 2014)

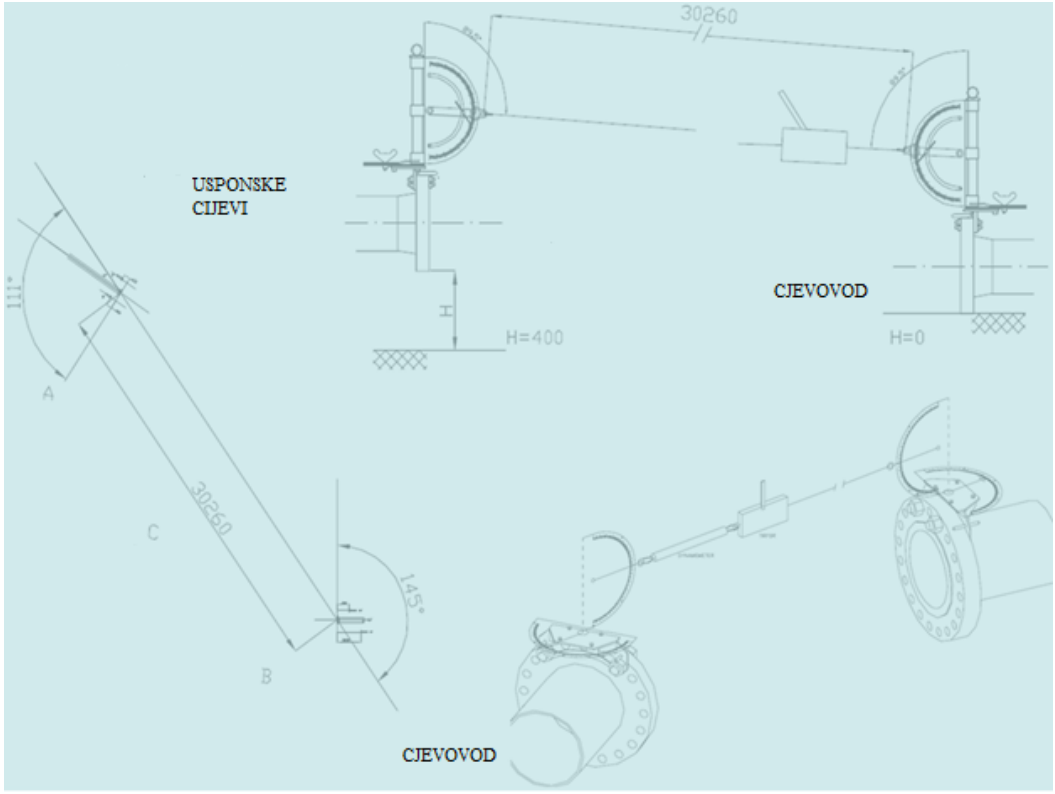
Žica namotana na bubanj jedne ploče razvlači se i pričvršćuje na drugu ploču, te se zateže ručnim pokretnim vitlom. Ronilac obavlja mjerenje koje je potrebno za preciznu izradu umetka. Ploče s kutomjerima su prikazane na slikama 6-4. i 6-5. Ova metoda mjerenja se koristila za postavljanje umetka na platformama IKA JZ i IKA čije je postavljanje objašnjeno u daljnjem tekstu. Tipični sustav za mjerenje prikazan je na slici 6-6.



Slika 6-4. Ploče s kutomjerima za podvodna mjerenja zategnutom žicom (Abel, 2014)



Slika 6-5. Dvije povezane ploče s dva kutomjera za podvodna mjerenja zategnutom žicom (Abel, 2014)



Slika 6-6. Shema sustava za tipična mjerenja zategnutom žicom (Krištafor, 2018)

6.3. Podvodna digitalna mjerenja zategnutom žicom

Digitalno mjerenje zategnutom žicom je unaprijeđeno mjerenje slično mjerenju zategnutom žicom. Dodatni senzori omogućuju dodatnu preciznost mjerenja udaljenosti/razmaka; dubina se očitava senzorima za tlak, a položaj digitalnim inklinometrima. Unatoč naprednijem sustavu, potreban je nadzor mjerenja. Postoji ograničenje mjerenja dužine umetka zbog progiba žice uslijed vlastite težine (International Marine Contractors Association, 2012).

6.4. Podvodna fotogrametrijska mjerenja

Fotogrametrijska mjerenja su nova metoda u primjeni za podvodna mjerenja. Princip mjerenja zasniva se na izradi trodimenzionalnog modela na dvodimenzionalnim fotografijama. Izrađuje se trodimenzionalni model položaja prirubnica/spojnica, morskog dna i drugih bitnih točaka na podvodnim strukturama. Glavna prednost ovog mjerenja je da se jednim pregledom morskog dna može sakupiti mnogo podataka. Fotogrametrijsko mjerenje zahtijeva dobru vidljivost pod morem (International Marine Contractors Association, 2012).

6.5. Inercijski navigacijski sustavi

Inercijski navigacijski sustav je relativno nova metoda podvodnog mjerenja, koristi tri akcelerometra i tri žiroskopa za mjerenje. Slaba vidljivost pod morem i podvodni zvukovi ne utječu na mjerenja. Mjerenje započinje na jednoj od spojnica, te se pomiče na drugu spojnicu. Matematičkom obradom podataka tijekom pomicanja uređaja za mjerenje određuje se lokacija druge spojnice. Uređajem upravlja ROV, te se mjerenje obavlja u kratkom vremenu. Vrijeme mjerenja, koje je direktno povezano s troškom mjerenja, je malo u odnosu na ostala mjerenja (International Marine Contractors Association, 2012).

7. Primjer iz prakse – postavljanje i dotezanje umetka za povezivanje cjevovoda na platformi IKA JZ

U 2013. godini kompanija INAgip d.o.o. odlučila je razviti eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran u odobalnom području gradnjom nove proizvodne platforme IKA JZ koja će biti povezana podmorskim cjevovodom s postojećom platformom IKA A.

7.1. Proizvodna platforma Ika Jugozapad

Plinsko polje IKA JZ nalazi se u sjeverozapadnom dijelu Jadranskog podmorja, unutar eksploatacijskog polja „Sjeverni Jadran“ koje je smješteno u epikontinentalnom pojasu Republike Hrvatske. Proizvodna platforma IKA JZ (slika 7-1.) nalazi se u hrvatskom dijelu Jadranskog mora, te je instalirana na dubini mora od 64 metra. To je platforma bez posade, potpuno automatizirana, samoregulirajuća, a daljinski nadzor i upravljanje obavlja se s postojeće platforme Annamaria A. IKA JZ je platforma tipa tripod odnosno ima postolje s tri noge. U rad je puštena 2014. godine (Žiković, 2015).



Slika 7-1. Platforma IKA JZ (Fotodokumentacija tvrtke INAgip)

Platforma se sastoji od (Žiković, 2015):

1. pilota,

2. rešetkastog postolja,

3. modula ušća bušotina ,

4. paluba.

Eksploatacijska platforma IKA JZ ima sljedeću namjenu (Žiković, 2015):

1. pridobivanje plina iz pet bušotina,

2. prihvat i obrada plina,

3. otpremanje plina podmorskim cjevovodom promjera 273 mm i duljine oko 12 km do platforme IKA A,

4. otpremanje slojne vode odvojene od plina podmorskim cjevovodom promjera 88,9 mm do platforme IKA A,

5. prihvat instrumentalnog zraka s platforme IKA A podmorskim cjevovodom promjera 60,3 mm,

6. proizvodnja električne energije za potrebe pogona platforme.

7.2. Opseg projekta

Kompanija INAgip d.o.o. je napravila projekt, a izvođač radova bila je kompanija SAIPEM S.p.A. Na slici 7-2. prikazano je eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran, a crveni krug na slici

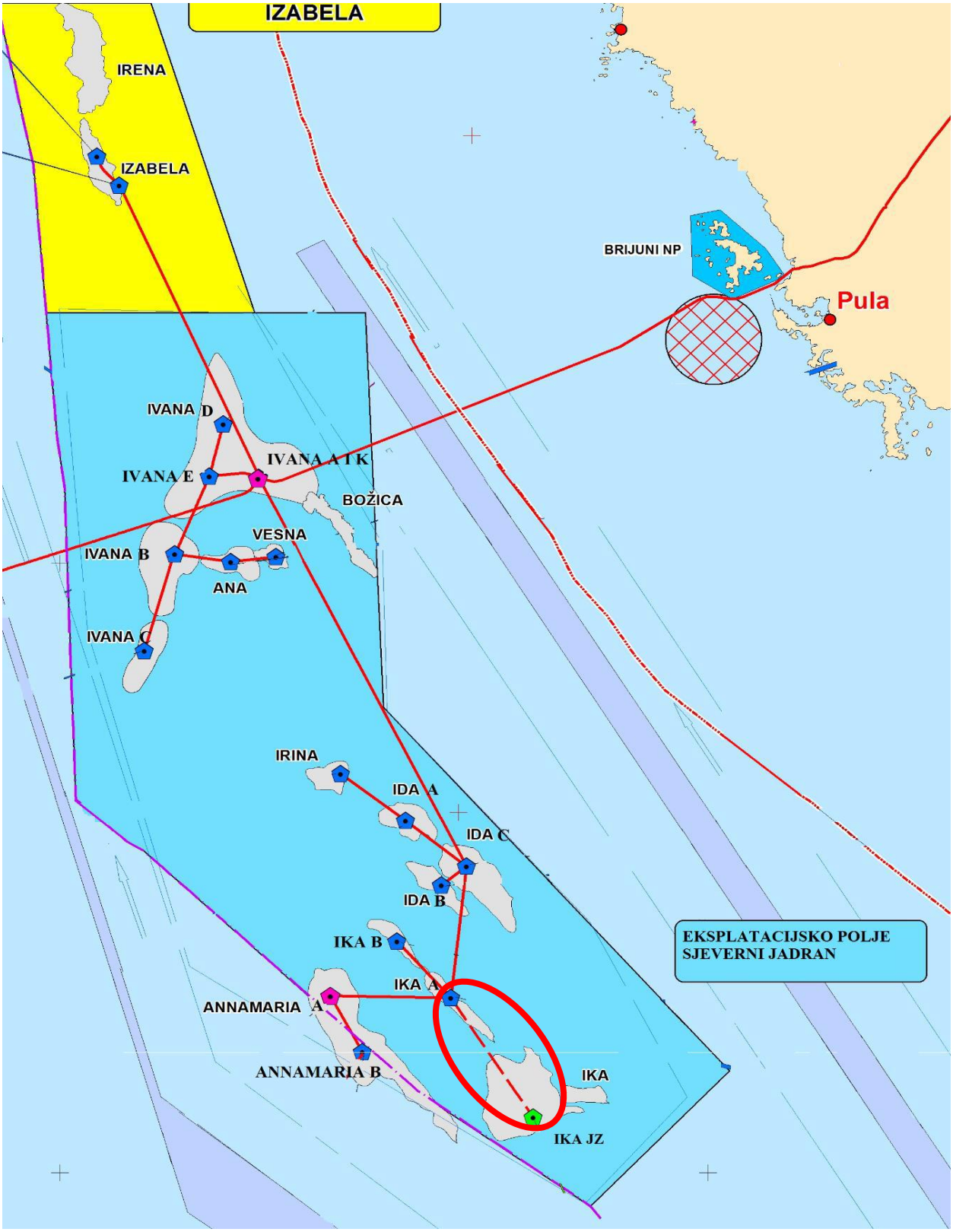
označava područje radova na ovom projektu. Radovi koji su prethodili montaži postolja buduće proizvodne platforme obuhvaćali su transport i postavljanje (INAgip d.o.o., 2013):

- tripoda (667 tona, 64 metra dubine),
- pilota (350 tona),
- konduktor cijevi (221 tona),
- pristana za brodove, odbojnike za pristup barže te modul bušotinskih glava.

Nakon izrade bušotina i kompletiranja ušća, slijedilo je postavljanje procesnog modula. U svrhu povezivanja bušotina i usponskih cijevi s položenim plinovodom te slanovodom i cjevovodom za instrumentalni zrak postavljeni su (INAgip d.o.o., 2013):

- podmorski cjevovodi promjera 254 mm + 76 mm + 51 mm (10" + 3" + 2") koji povezuju platformu IKA JZ s platformom IKA A (približno 11,7 km),
- ekspanzijski umetci (engl. *expansion loop*) s prijelaznim mjestima (engl. *crossing*),
- usponske cijevi (engl. *riser*) promjera 254 mm (10") na platformi IKA A,
- dotezanje spojeva (engl. *tie in executions*),
- čišćenje cijevi kalibracijskim čistačom, mjerenje untrašnjeg promjera cijevi, te hidrostatičko ispitivanje cijevi.

Projektom je predviđen i postupak u slučaju nepredviđenih situacija. Za slučaj zatajenja uređaja za dinamičko pozicioniranje, radovi se prekidaju dok se ne osposobi sustav dinamičkog pozicioniranja (INAgip d.o.o., 2013).



Slika 7-2. Eksploatacijsko polje Sjeverni Jadran te polje Izabela (Žiković, 2015)

7.3. Procedura postavljanja i dotezanja navojnih spojeva umetka na platformama IKA JZ i IKA A

Svaka kompanija izrađuje proceduru za postavljanje i dotezanje navojnih spojeva koju treba slijediti, osim u iznimnim okolnostima kada ju je nemoguće slijediti bez odstupanja. U tom slučaju, voditelj ronilaca (engl. *diving superintendent*) može odlučiti u dogovoru s klijentom ili predstavnikom kompanije (engl. *company site representative*) da se unesu promjene u proceduri koristeći propisane tehničke upite (engl. *site tehnical query*). Ako postoje, odobrene promjene u proceduri dokumentiraju se na mjestu izvođenja radova kao i u izvedbenoj dokumentaciji glavnog projekta (engl. *as-built dossier*). Marinski geodet (engl. *marine warranty surveyor - MWS*) izdaje dozvolu za početak radova prije njihova izvođenja, uzimajući u obzir vremenske prilike/neprilike ili neke druge okolnosti (INAgip d.o.o., 2013).

Postavljeni umetci za povezivanje cjevovoda na platformama IKA A i IKA JZ konstruirani su od tri (kompenzacijske petlje (engl. *expansion loop*) promjera 51 mm (2") i 76 mm (3")) i dvije (kompenzacijske petlje promjera 254 mm (10")) sekcije (INAgip d.o.o., 2013).

Prve dvije sekcije, kompenzacijske petlje promjera 51 mm (2") i 76 mm (3") su unaprijed napravljene i postavljane počevši od risera . Nakon postavljanja ove dvije sekcije (engl. *corridor spools*), ronioci su obavili mjerenja za izradu i postavljanje umetka. Nakon izrade umetka, ronioci ga povezuju (INAgip d.o.o., 2013).

Prvi dio kompenzacijske petlje promjera 254 mm (10") je prethodno izrađen i postavljen počevši od usponske cijevi. Nakon postavljanja prvog dijela, ronioci su obavili mjerenja za izradu i postavljanje umetka. Nakon njegove izrade instaliran je uz asistenciju ronilaca (INAgip d.o.o., 2013).

7.3.1. Podatci o prirubnicama za povezivanje cjevovoda

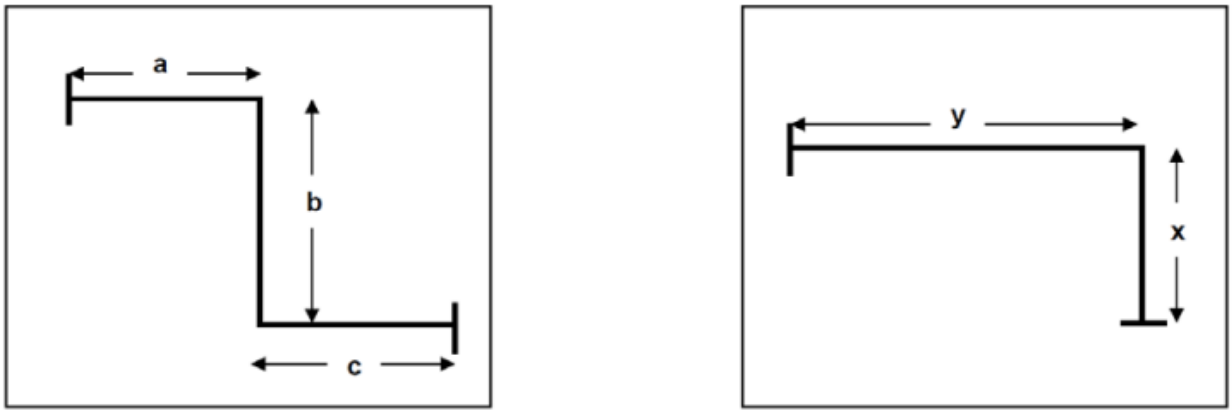
Dimenzije umetaka za povezivanje cjevovoda postavljanih na platformama IKA JZ (dubina mora 63,9 metara) i IKA A (dubina mora 58,5 metara) prikazane su u tablici 7-1 (INAgip d.o.o., 2013).

Cjevovod vanjskog promjera 254 mm (10") namijenjen je za otpremanje plina do platforme IKA A, cjevovod vanjskog promjera 76 mm (3") namijenjen je za otpremanje slojne vode odvojene od plina do platforme IKA A, a cjevovod vanjskog promjera 51 mm (2") namijenjen je za prihvat instrumentalnog zraka s platforme IKA A (INAgip d.o.o., 2013). Umetci su oblika „S“ i „L“, kako je prikazano na slici 7-3.

Tablica 7-1. Dimenzije umetka za povezivane cjevovoda postavljanih na platformama IKA JZ i IKA A (INAgip d.o.o., 2013)

Platforma	Dubina mora [m]	Dimenzije umetka						
				Oblik „S“ [m]			Oblik „L“[m]	
		Vanjski promjer [inch]	Debljina stijenke [mm]	a	b	c	x	Y
IKA JZ	63	10“ plin	12.7	10.0	30.5	5.6	-	-
		3“ voda	6.4	11.8	31.1	5.5	-	-
		2“ zrak	5.5	10.3	29.9	6.7	-	-
IKA A	58.5	10“ plin	12.7	-	-	-	10.1	19.1
				-	-	-	14.3	21.6
		3“ voda	6.4	12.2	17.86	1.4	8.91	21.97
				-	-	-	17.5	3.47
		2“ zrak	5.5	11.37	17.5	1.5	7.87	23.7
				-	-	-	19.1	3.97

Oznake a, b i c, te x i y u tablici 7-1. odnose se na dužine pojedinih djelova umetaka.



Slika 7-3. Oblik „S“ i „L“umetka za povezivanje cjevovoda (INAgip d.o.o., 2013)

7.3.2. Podatci o prirubnicama i vrijednosti sila dotezanja

Podatci o prirubničkom spoju između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA A prikazani su u tablici 7-2.

Tablica 7-2. Podatci o prirubničkom spoju promjera 254 mm (10") između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA A (INAgip d.o.o., 2013)

Tip prirubnice	**Broj rupa za vijke, promjer vijka, materijal**	**Alatka za dotezanje**	**Vrijednosti sile dotezanja**
Welding neck / Swivel 10" 900 ANSI B16-5 Ring Type Joint R53	16 1 3/8" ASTM A320 L7	AJ3 (Aquajack)	Tlak na alatki za dotezanje: 120,6 MPa
			Sila na vijku: 303 kN
			Naprezanje vijka: 379 N/mm^2 (53% od granice popuštanja)
			Rezidualna/preostala sila na vijku: 260 kN
			Rezidualno/preostalo naprezanje vijka: 324 N/mm^2 (45% od granice popuštanja)

Podatci o prirubničkom spoju promjera 76,2 mm (3") između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA A prikazani su u tablici 7-3.

Tablica 7-3. Podatci o prirubničkom spoju promjera 76,2 mm (3") između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA A (INAgip d.o.o., 2013)

Tip prirubnice	**Broj rupa za vijke, promjer vijka, materijal**	**Alatka za dotezanje**	**Vrijednosti sile dotezanja**
Welding neck / Swivel 3" 900 ANSI B16-5 Ring Type Joint R53	8 7/8" ASTM A320 L7	AJ1 (Aquajack)	Tlak na alatki za dotezanje: 123,9 MPa
			Sila na vijku: 123 kN
			Naprezanje vijka: 407 N/mm^2 (56% od granice popuštanja)
			Rezidualna/preostala sila na vijku: 98 kN
			Rezidualno/preostalo naprezanje vijka: 324 N/mm^2 (45% od granice popuštanja)

Podatci o prirubničkom spoju između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA JZ prikazani su u tablici 7-4.

Tablica 7-4. Podatci o prirubničkom spoju promjera 254 mm (10") između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA JZ (INAgip d.o.o., 2013)

Tip prirubnice	**Broj rupa za vijke, promjer vijka, materijal**	**Alatka za dotezanje**	**Vrijednosti sile dotezanja**
Welding neck / Swivel 10" 900 ANSI B16-5 Ring Type Joint R53	16 1 3/8" ASTM A320 L7	AJ3 (Aquajack)	Tlak na alatki za dotezanje: 120,6 MPa
			Sila na vijku: 303 kN
			Naprezanje vijka: 379 N/mm^2 (53% od granice popuštanja)
			Rezidualna/preostala sila na vijku: 260 kN
			Rezidualno/preostalo naprezanje vijka: 324 N/mm^2 (45% od granice popuštanja)

Podatci o prirubničkom spoju između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA JZ prikazani su u tablici 7-5.

Tablica 7-5. Podatci o prirubničkom spoju promjera 76,2 mm (3") između položenog cjevovoda i usponske cijevi platforme IKA JZ (INAgip d.o.o., 2013)

Tip prirubnice	**Broj rupa za vijke, promjer vijka, materijal**	**Alatka za dotezanje**	**Vrijednosti sile dotezanja**
Welding neck / Swivel 3" 900 ANSI B16-5 Ring Type Joint R53	8 7/8" ASTM A320 L7	AJ1 (Aquajack)	Tlak na alatki za dotezanje: 123,9 MPa
			Sila na vijku: 123 kN
			Naprezanje vijka: 407 N/mm^2 (56% od granice popuštanja)
			Rezidualna/preostala sila na vijku: 98 kN
			Rezidualno/preostalo naprezanje vijka: 324 N/mm^2 (45% od granice popuštanja)

Za umetak promjera 50,8 mm (2") potrebni okretni moment iznosi 125 Nm, promjer vijka je 5/8" × 280, ASTM A320 L7 ANSI B16.5 (INAgip d.o.o., 2013).

7.3.3. Procedura postavljanja umetka - „korak po korak“

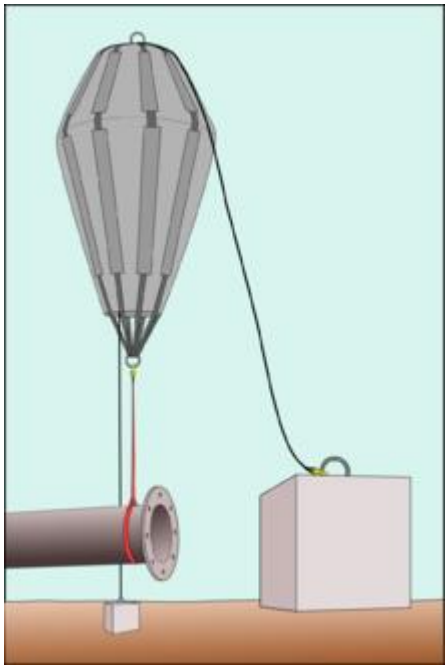
Na umetke se obično postavljaju mekane nosive trake (brage) (slika 7-4.) te vreće za niveliranje (engl. *lifting bags*) (slika 7-5.) odnosno za spuštanje u horizontalni položaj. Nosive trake su trake napravljene najčešće od umjetnih materijala koje služe za podizanje i spuštanje tereta. Vreće za niveliranje služe za pomoć pri spuštanju umetka, lebdenju umetka, te na taj način pomažu roniocima pri povezivanju prirubnica na krajevima umetka. Ronioci upuhuju zrak ispod vreće te nastaje „balon“ u moru koji podiže teret. Ispuhivanjem zraka teret se spušta. Tipično spuštanje i podizanje prirubnice pomoću vreća za niveliranje prikazano je na slici 7-6. Umetci se oblažu neoprenskom navlakom na mjestu gdje se postavljaju brage, plutače te vreće za niveliranje tako da se antikorozijska/betonska obloga ne ošteti. Mjesto i broj vreća za niveliranje te lanaca ovise o težini pojedinog umetka. Lanci se stavljaju radi ostvarenja dodatne težine kako bi se omogućilo tonjenje umetka (INAgip d.o.o., 2013).

Primarni način postavljanja umetaka je pomoću vreća za niveliranje kojima manipuliraju ronioci u blizini morskog dna i konačne lokacije postavljanja (INAgip d.o.o., 2013).

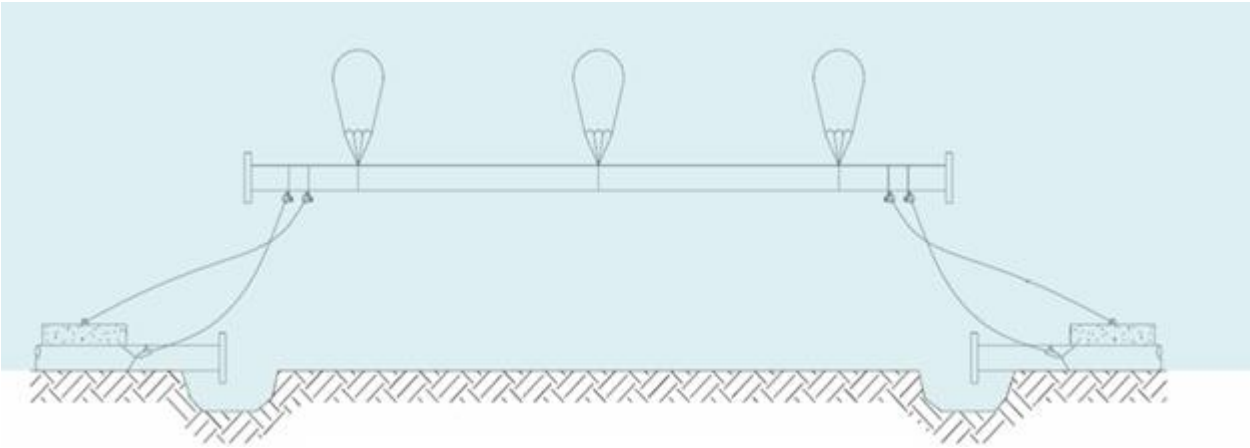
Sekundarni način postavljanja umetaka je pomoću dizalice na plovilu za podršku roniocima (engl. *Diving Support Vessel - DSV*) – ako je moguće, umetak se spušta u konačnu poziciju. Ovaj način zahtijeva pažljivu procjenu morskih uvjeta, morskih struja i vidljivosti pod morem, uzimajući u obzir u ovom slučaju da plovilo koristi sustav dinamičkog pozicioniranja, te da dizalica nema vertikalni kompenzator tereta. Konačnu odluku o izvedivosti sekundarnog načina postavljanja umetaka donosi samostalno voditelj ronilaca kao i odluke o eventualnom prekidu i nastavku postavljanja (INAgip d.o.o., 2013).



Slika 7-4. Mekane nosive trake (brage) za podizanje i spuštanje tereta (LIFTINGSAFETY, 2019)



Slika 7-5. Vreća za niveliranje



Slika 7-6. Tipično spuštanje i podizanje umetka pomoću vreća za niveliranje (Krištafor, 2018.)

7.3.3.1. Pripremni radovi za postavljanje

Radovi za postavljanje umetka za povezivanje cjevovoda izvode se u koracima kako slijedi (INAgip d.o.o., 2013):

1. Priprema umetka:
    - postavljanje vreća za niveliranje i lanaca (nadzornik ronilaca (engl. *diving supervisor*) odlučuje o pozicioniranju te broju vreća za niveliranje, ovisno o težini/dužini umetka),
    - dva tirfor vitla (slika 7-7.) bez natega postavljaju se na svaku stranu umetka,
    - svijetleće oznake postavljaju se duž cijelog umetka,
2. ronilac treba provjeriti mogućnost rotacije okretne prirubnice,

3. treba postaviti drvenu zaštitu na lica prirubnica te ih učvrstiti pomoću užeta od polipropilena,
4. vijke, matice i brtveni uložak prirubnice, te hidraulički alat za dotezanje treba staviti u košaru koja se spušta roniocima na mjesto postavljanja.

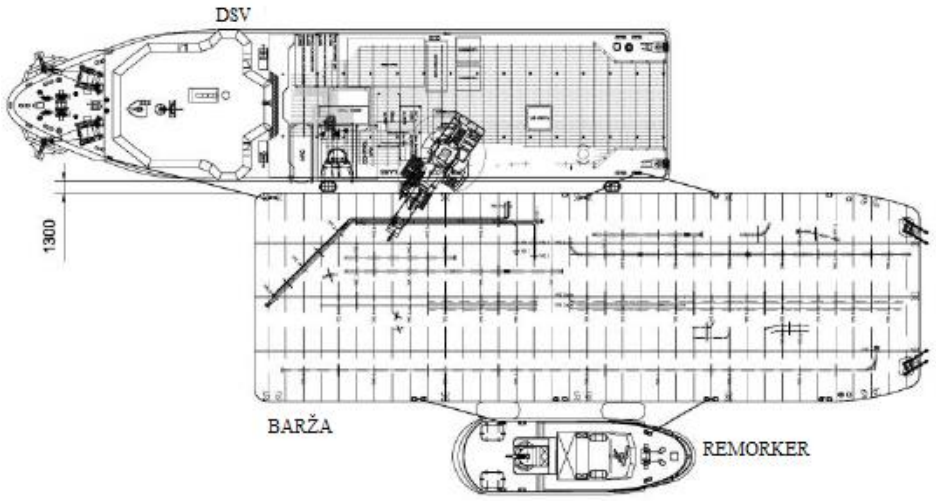


Slika 7-7. Tirfor vitlo (Lifting Gear Direct, 2019.)

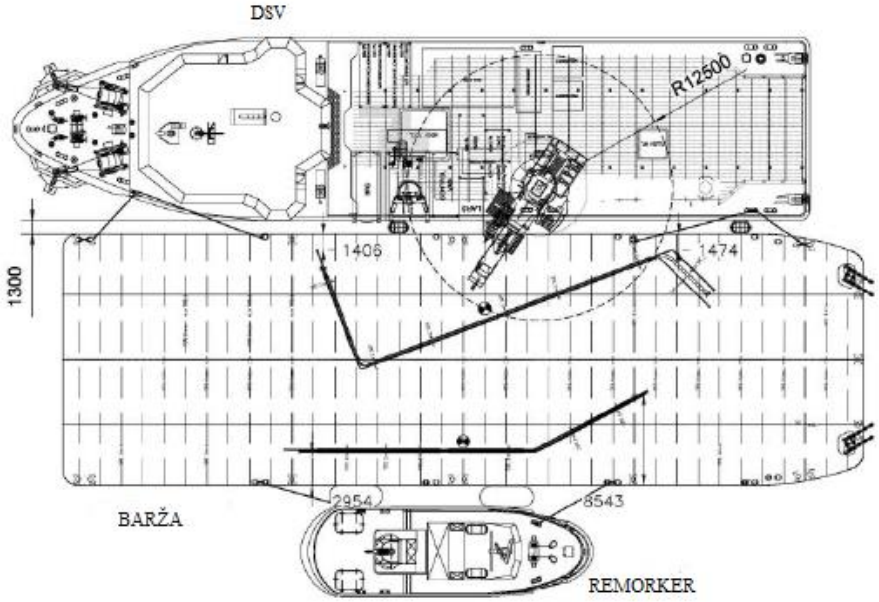
7.3.3.2. Podizanje i spuštanje umetka s barže

Remorker (tegljač) dovlači baržu na kojoj su postavljeni umetci, dolazi prema plovilu za pomoć roniocima (engl. *Diving Support Vessel - DSV*) sa strane barže na kojoj se nalazi umetak i tu se zaustavlja. Posada plovila privezuje baržu i izvršava sigurnosne provjere i kontrolu pozicioniranja braga koje trebaju biti postavljene sukladno nacrtima projekta za podizanje i spuštanje. Posada spaja kuku dizalice s bragama, te uklanja sve veze koje su pričvršćivale umetak tijekom transporta. Nakon što dizalica podigne umetak s barže, umetak se orijentira u najprikladniju poziciju za postavljanje. Plovilo za pomoć roniocima se kreće prema mjestu postavljanja odnosno spuštanja, uzimajući u obzir sigurnosni razmak od platforme (približno 50 metara od podvodne strukture). Potom dizalica započinje spuštanje umetka vodeći računa da je cijeli umetak potopljen odnosno ispunjen morem, a od tog trenutka plovilo na daljinsko upravljanje (ROV) kontinuirano prati cjelokupan postupak. Spuštanje se zaustavlja na visini 10

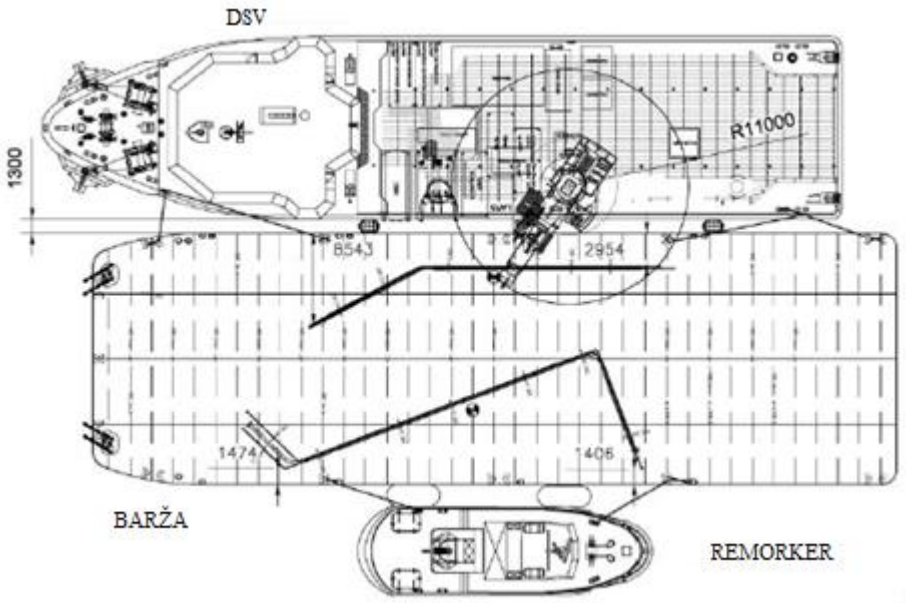
metara iznad morskog dna (INAgip d.o.o., 2013). Cjelokupan proces podizanja i spuštanja umetka prikazan je na slikama od 7-8. do 7-11.



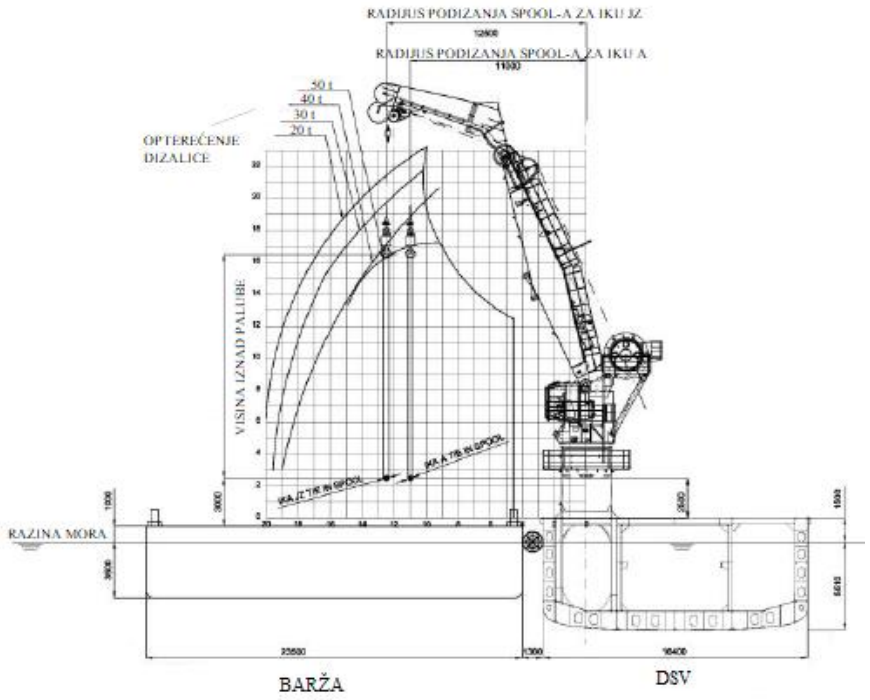
Slika 7-8. Privezivanje barže za DSV (INAgip d.o.o., 2013)



Slika 7-9. Podizanje umetaka za platformu IKA JZ (INAgip d.o.o., 2013)



Slika 7-10. Podizanje umetaka za platformu IKA A (INAgip d.o.o., 2013)



Slika 7-11. Slijed podizanja umetaka s barže (INAgip d.o.o., 2013)

7.3.3.3. Postavljanje umetka u konačni položaj (primarni način postavljanja umetka)

Kada se umetak spusti na visinu 10 metara od morskog dna ronioci preuzimaju postupak postavljanja. Ronioci trebaju pronaći mjesto spajanja umetka, provjeriti lokaciju na koju se spušta i orijentaciju umetka pri čemu niti u jednom trenutku ne smiju biti ispod umetka. Ako je potrebno, DSV se može pomicati radi lakšeg pozicioniranja na lokaciji za povezivanje. Ako je moguće, prema uputama ronilaca, umetak se dovodi na poziciju što bliže mjestu postavljanja i spajanja. Ako je lokacija postavljanja „slobodna“, priređena za spuštanje dizalicom počinje postupak spuštanja na morsko dno dok čelično uže dizalice dovoljno ne olabavi kako bi se moglo osloboditi od umetka. Kuka dizalice nakon otpuštanja podiže se prema površni natrag na DSV. Potrebno je postaviti minimalno dva držača, jedan na svaki kraj umetka koji se povezuje s platformom ili ukopanim sidrištem (engl. *Dead Man Anchor - DMA*). Povezuju se linije za izokretanje (navlačenje). Barem jednu od linija za navlačenje s jedne od vreća za niveliranje treba učvrstiti za podvodnu strukturu ili prikladno sidrište. Postavlja se crijevo za upuhivanje zraka i upuhuje se 25% ukupnog volumena zraka u vreću za niveliranje. Ako ne postoji gubitak/ispuštanje zraka upuhuje se ostatak od 75% ukupnog volumena zraka te se opet provjerava postoji li gubitak/ispuštanje zraka. Upuhivanje se nastavlja sve dok umetak ne dođe u stanje neutralne plovnosti (lanci su skinuti s umetka). Kada umetak dođe u stanje neutralne plovnosti ronilac poravnava lica prirubnica korištenjem tirfor vitla. Nakon instaliranja umetka u željeni položaj, vreće za niveliranje se ispuhuju (INAgip d.o.o., 2013).

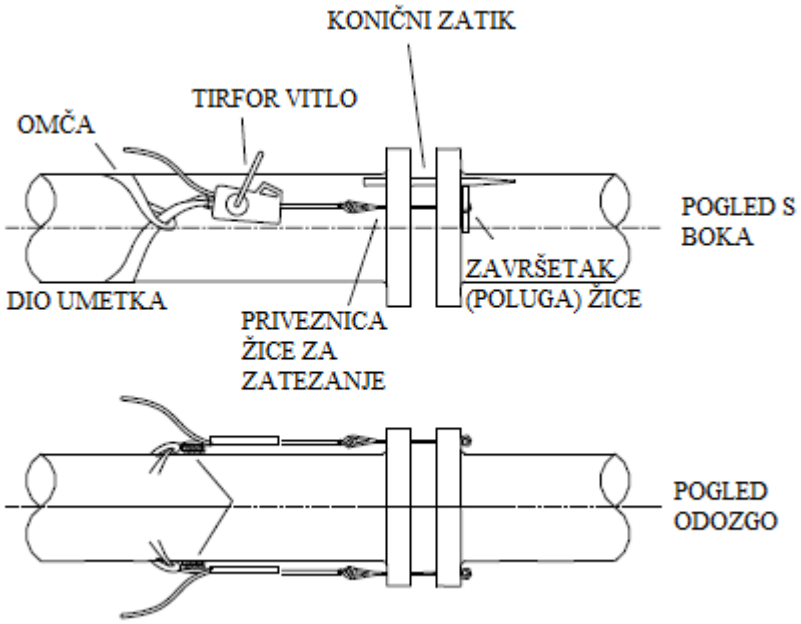
7.3.3.4. Postavljanje umetka u konačni položaj (sekundarni način postavljanja umetka)

Kao i kod primarnog načina postavljanja kada se umetak spusti na visinu 10 metara od morskog dna ronioci preuzimaju postupak postavljanja. Ronioci također trebaju pronaći mjesto spajanja umetka te provjeriti mjesto spuštanja i orijentaciju umetka pri čemu niti u jednom trenutku ne smiju biti ispod umetka. Pomicanjem dizalice/plovila uz pomoć ronioca umetak se dovodi na

konačnu poziciju. Ronilac poravnava lica prirubnica korištenjem tirfor vitla ili ručne lančane dizalice (engl. *chain block*), te dizalica spušta umetak u konačan položaj (INAgip d.o.o., 2013).

7.3.3.5. Povezivanje prirubnica

Lica prirubnica umetka odnosno cjevovoda povezuju se korištenjem tirfor vitla i koničnih zatika pomoću kojih se poravnavaju otvori na prirubničkom spoju kako bi se moglo postaviti vijke kroz obje prirubnice (slika 7-12.).



Slika 7-12. Povezivanje prirubnica korištenjem tirfor vitla i koničnih zatika (INAgip d.o.o., 2013)

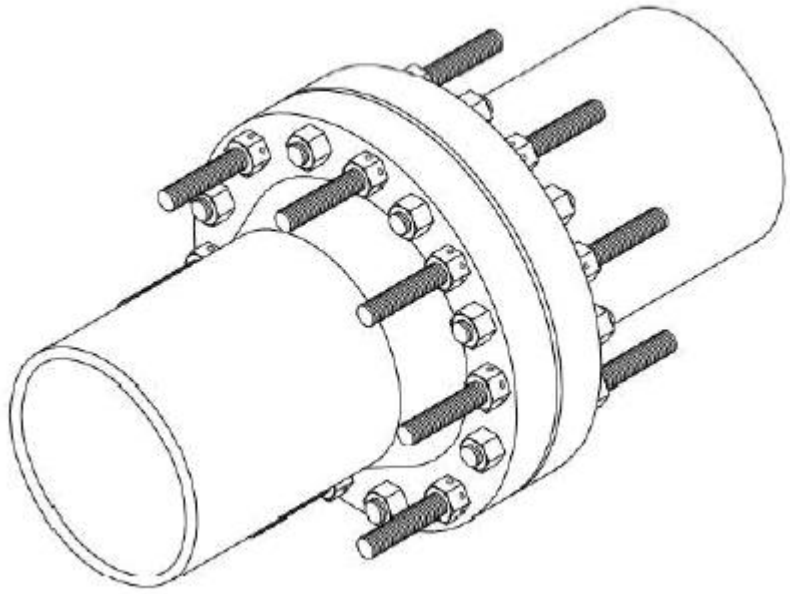
Provjerava se čistoća baze/lica prirubnica te utori brtvenog prstena. Ako su prirubnice pravilno poravnate i udaljene 35 mm jedna od druge, ronioci stavljaju minimalno tri usadna vijka u otvore donje polovice prirubnica. Usadni vijci (slika 7-13.) sprečavaju ispadanje brtvenog prstena. Ronioci provjeravaju čistoću i neoštećenost brtvenog prstena prije postavljanja, što obavezno mora biti snimljeno kamerom. Smije se koristiti samo novi brtveni prsten koji ne smije biti deformiran te mora biti pravilno umetnut. U otvore prirubnica umeću se preostali usadni vijci, te se uklanjaju konični zatici. Nakon što su konusni zatici izvađeni umeću se ostali usadni vijci popunjavajući tako sve preostale otvore prirubnica. Matice se dotežu udarnim ključem za dotezanje dok razmak između prirubnica ne bude približno 30 milimetara u 4 referentne točke (INAgip d.o.o., 2013).



Slika 7-13. Usadni vijak (Al Rashed Fasteners, 2019)

7.3.3.6. Postupak hidrauličkog dotezanja vijaka

Dotezanje svih vijaka obavlja se istovremeno. Kako bi to bilo moguće prethodno postavljeni vijci moraju biti naizmjenično umetnuti tako da svakom drugom vijku duža polovica ide u suprotnom smjeru što prikazuje slika 7-14.



Slika 7-14. Postavljanje vijaka za hidraulično dotezanje (INAgip, 2013)

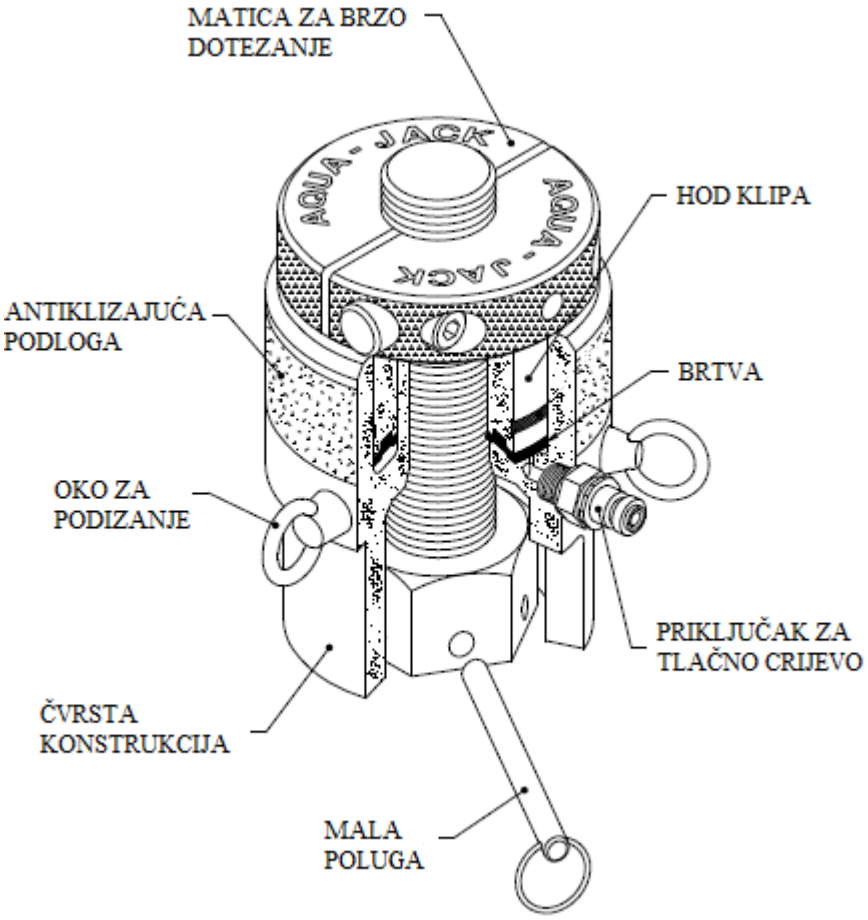
Postupak hidrauličkog dotezanja (INAgip, 2013):

1. postavljanje hidrauličke alatke za dotezanje na vijke (slika 7-15.),
2. spajajanje hidrauličke cijevi na alatke za dotezanje,
3. prije aktiviranja tlaka potrebnog za priljubljivanje prirubnica, ronioci provjeravaju razmak između prirubnica kaliperom,
4. ostvaruje se tlak od 69 bar (1000 psi) i provjerava se hermetičnost hidrauličkog sustava,
5. povećavanje tlaka do polovice vrijednosti maksimalnog propisanog tlaka, te ponovna provjera hidrauličkog sustava i razmaka između prirubnica,

6. ostvarivanje maksimalnog propisanog tlaka,
7. održavanje stalnog tlaka te dotezanje matica malom polugom (slika 7-16.),
8. provjera dotegnutosti matica vrši se udaranjem čekićem nekoliko puta po poluzi,
9. otvaranje povratnog ventila na hidrauličkoj pumpi i otpuštanje tlaka u sustavu,
10. ponovno ponavljanje postupaka tlačenja dok se matice više ne mogu dotegnuti,
11. ponovna provjera razmaka između prirubnica kaliperom,
12. uklanjanje hidrauličke alatke za dotezanje,
13. provjera dotegnutosti matica udarnim ključem (Tie in spools installation procedure, INAgip & Saipem).



Slika 7-15. Hidrulička alatka za dotezanje vijaka (INTEGRA Technologies, 2016)



Slika 7-16. Hidrulička alatka za dotezanje vijaka, te mala poluga (Hydratight Ltd., 2019)

8. Zaključak

Postupak povezivanja usponskih cijevi proizvodnih platformi i podmorskog cjevovoda umetkom za povezivanje cjevovoda vrlo je intrigantan, a naizgled je i industrijska tajna. Literatura je ograničena na priručnike koji se razlikuju od kompanije do kompanije, jer svaka kompanija ima svoj način ili propisani postupak postavljanja umetka za povezivanje cjevovoda.

Postavljanje umetka za povezivanje cjevovoda možda djeluje kao nebitan segment u uspostavi podvodnog transporta ugljikovodika, ali radi se o završnom dijelu spajanja cjevovoda s usponskim cijevima prozvodne platforme koji mora osigurati siguran transport ugljikovidika bez propuštanja. U suprotnom može doći do istjecanja fluida te zagađenje okoliša i nesreća na moru. Kako bi se troškovi mjerenja, izrade i postavljanja umetka sveli na minimum potrebno je poznavati mehanizme i izazove za dizajniranje umetka za povezivanje cjevovoda. Dužina umetka i njegova konfiguracija ovisi o konačnom razmaku između kranje točke polaganja cjevovoda i usponske cijevi platforme. Zato se umetak unaprijed može precizno izraditi što smanjuje ukupne troškove u odnosu na situaciju kad su tijekom spajanja potrebne naknadne intervencije.

U ovom radu povezivanje cjevovoda s usponskim cijevima proizvodne platforme i postavljanje umetka za povezivanje cjevovoda objašnjeno je na projektu postavljanja umetka na platformama IKA JZ i IKA A od strane tvrtke INAgip d.o.o. Ne postoji univerzalni način postavljanja umetka za povezivanje cjevovoda. Čak ni priručnici za postavljanje umetka nisu garancija pravilnog načina postavljanja. U praksi se često mora ići izvan okvira priručnika, i upravo zbog toga svaki projekt koji uključuje postavljanje platforme, usponskih cijevi, umetka, polaganje cjevovoda i svih poslova s tim u vezi je poseban sam za sebe.

9. Popis literature

1. ABEL B., (2014). Diver Taut Wire Metrology System. Prezentacija. All Oceans Engineering Ltd., Aberdeen, Scotland.
2. BEVAN, J. (ED.). (2010). The professional diver's handbook (3rd edition). Submex.
3. CHAN, H. H., MYLONAS, L., & MCKINNON, C. (2008). Advanced Deepwater Spool Piece Design. IBC's 31 st annual Off-shore Pipeline Technology Conference & Exhibition.
4. CORBETTA, G., & COX, D. S. (2001). Deepwater tie-ins of rigid lines: Horizontal spools or vertical jumpers?. SPE Production & Facilities, 16(03), 145-150.
5. DUCKWORTH, S. W., SUPPLE, W. J., & NEILSON, W. T. (1986). Flowline Tie-Ins. In *Modular Subsea Production Systems: Proceedings of an International Conference*. Society of Underwater Technology.
6. Fotodokumentacija tvrtke INAgip
7. GERWICK JR, B. C. (2007). Construction of marine and offshore structures. CRC press.
8. Hydratight Ltd., 2019. OPERATING & MAINTENANCE INSTRUCTIONS FOR AJ MANUAL. Priručnik.
9. INAgip d.o.o., 2013. Tie in spools installation procedure. IKA JZ development project. IKA JZ platform.
10. International Marine Contractors Association, (2012). *Guidance on Subsea Metrology* (pp. 1-32). Technical report. London, England.
11. KRIŠTAFOR Z., 2018. Predavanje s kolegija „Aktivnosti u akvatoriju“. Prezentacija. Zagreb: RGNf.
12. LYSSAND, T. (2015). *Design of subsea spools: Investigating the effect of spool size*. Master's thesis, University of Stavanger, Norway.
13. PALMER, A. C., & KING, R. A. (2004). Subsea pipeline engineering. PennWell Books.
14. PAVLICA, M. (2004). Polaganje plinovoda između platformi Marica i Barbara T2. Diplomski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu).
15. PERIĆ, M. (2007). Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina. *Zagreb: INA Industrija nafte dd*.
16. SLETTEBØ, E. (2012). *Tie-in spools-a verification study*. Master's thesis, University of Stavanger, Norway.

17. ŽIKOVIĆ, V. (2015). *Proizvodne platforme eksploatacijskog polja Sjeverni Jadran* Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

www izvori:

18. ACHNITA D. R., 2015. Subsea Pipeline Tie-in. URL: https://dwinirestu.wordpress.com/2015/02/05/subsea-pipeline-tie-in/ (28.02.2019.)
19. AKER SOLUTIONS, 2012. Forskning og utvikling. URL: https://eng.akerasa.com/About-Aker/History/Research-and-development/(language)/nor-NO (28.02.2019.)
20. Al Rashed Fasteners, 2019. Stud bolts. URL: http://www.alrashed-fasteners.com/stud-bolts/ (28.02.2019)
21. Engineering ToolBox, 2003. Pipes and Tubes - Temperature Expansion. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-expansion-pipes-d_283.html (28.02.2019.)
22. EngRx Corp., 2019. BOLTED FLANGE AND BONNET LEAKS. URL: http://engrx.ca/mechanical-engineering-services-edmonton/on-line-leak-sealing-design/bolted-flange-and-bonnet-leaks/ (28.02.2019.)
23. FMC Technologies, 2019. VECON Tie-in System. URL: http://web4.fmctechnologies.com/en/SubseaSystems/Technologies/SubseaProductionSystems/TieInAndFlowlines/VerticalAndHorizontalTieInSystems/VerticalTieIn/VECON.aspx# (28.02.2019.)
24. Freudenberg Oils & Gas Technologies, 2018. High integrity metal-to-metal clamp connector. URL: http://www.fogt.com/Bluesky-bluelock-clamp-connector (28.02.2019.)
25. GASSCO. Langeled. URL: https://www.gassco.no/en/our-activities/pipelines-and-platforms/langeled/ (28.2.2019.)
26. INTEGRA Technologies, 2016. SeaStallion™ Subsea Bolt Tensioners: How It Works (screenshot from video). URL: https://www.youtube.com/watch?v=z9N39-znXJg (28.02.2019.)

27. LIFTINGSAFETY, 2019. Round polyester lifting Slings. URL: https://www.liftingsafety.co.uk/product/round-slings-2599.html (28.02.2019.)
28. MACCAFERRI CORPORATE, 2019. The Articulated Concrete Block Mattress (ACBM). URL: https://www.maccaferri.com/products/articulated-concrete-block-mattresses/acbm/ (28.02.2019.)
29. Oil States Industries, 2016. Collet Connector (screenshot from video). URL: https://www.youtube.com/watch?v=DFoObullJn4 (28.02.2019.)
30. RANGAPURE S. S., (2013). Overview to Subsea System Presentation URL: https://www.slideshare.net/densands/subsea (28.02.2019.)
31. Bright Hub Engineering, (2019.). The Largest Underwater Pipeline: Langeled pipeline. URL: https://www.brighthubengineering.com/hydraulics-civil-engineering/62945-langeled-pipeline-transporting-the-north-sea-gas-from-ormen-lange/ (26.03.2019.)

IZJAVA

Ovom izjavom izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, služeći se navedenom literaturom.

Mateo Mandić